"十五"国家出版规划重点图书

中国科学院高技术研究与发展
"九五"重大项目

《中国古代工程技术史大系》
主编 / 路甬祥

刘德林　周志征　刘　瑛 / 著

山西出版集团
山西教育出版社

# 中国古代
# 井盐及油气钻采工程技术史

ZHONGGUO GUDAI
JINGYAN JI YOUQI ZUANCAI
GONGCHENG JISHUSHI

中国古代

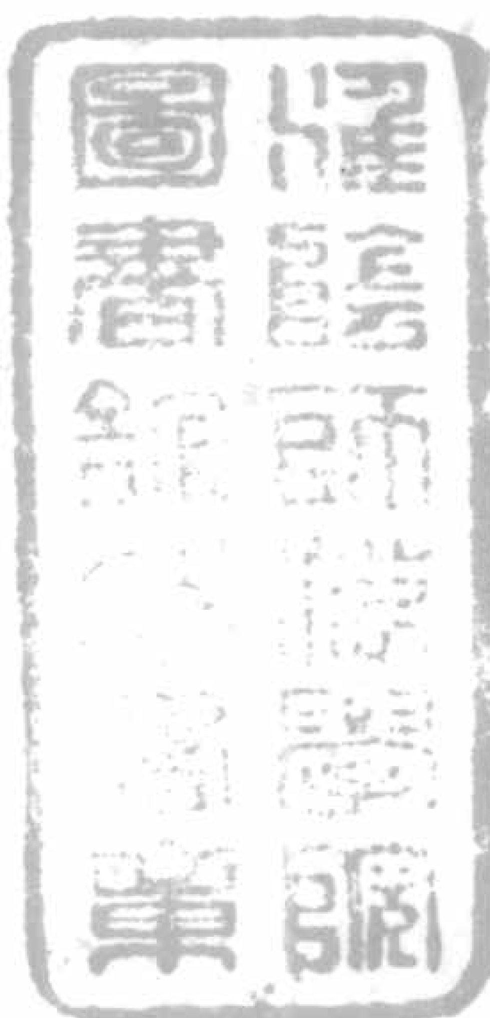
井盐及油气钻采
工程技术史

ISBN 978-7-5440-2799-1



定价：110.00元

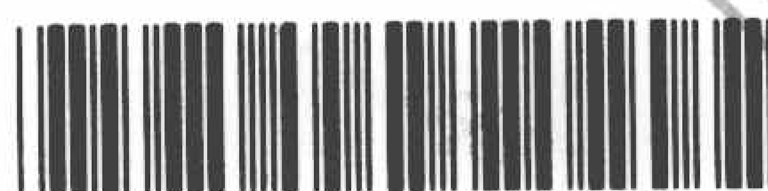
ZHONGGUO GUDAI
JINGYAN JI YOUQI ZUANCAI
GONGCHENG JISHUSHI



# 中国古代
# 井盐及油气钻采工程技术史

刘德林 周志征 刘瑛／著

山西出版集团
山西教育出版社



**图书在版编目(CIP)数据**

中国古代井盐及油气钻采工程技术史/刘德林,周志征,刘瑛著.—太原:山西教育出版社,2010.7
ISBN 978-7-5440-2799-1

Ⅰ.①中… Ⅱ.①刘…②周…③刘… Ⅲ.①井盐-技术史-中国-古代②油气钻井-技术史-中国③石油开采-技术史-中国 Ⅳ.①TS351-092②TE242-092③TE355-092

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第101880号

**中国古代井盐及油气钻采工程技术史**
ZHONGGUOGUDAIJINGYANJIYOUQIZUANCAIGONGCHENGJISHUSHI

**出版策划** 王佩琼
**责任编辑** 康　键
**复　　审** 刘立平
**终　　审** 荆作栋
**装帧设计** 王耀斌
**印装监制** 贾永胜

**出版发行** 山西出版集团·山西教育出版社
(太原市水西门街馒头巷7号　电话:4035711　邮编:030002)
**印　　装** 山西新华印业有限公司
**开　　本** 787×1092　1/16
**印　　张** 34.5
**字　　数** 719千字
**版　　次** 2010年7月第1版　2010年7月山西第1次印刷
**印　　数** 1—5000册
**书　　号** ISBN 978-7-5440-2799-1
**定　　价** 110.00元

# 序言

“工程技术”活动是人类最为基本的社会实践之一。现代工程技术主要表现为以科学发现来引导技术创新，并应用于生产；又围绕生产过程对技术实行集成，并以理论的形态，形成诸多独立的学科，起到联结科学与生产的桥梁作用。工程技术是在人类利用和改造自然的实践过程中逐渐产生，并发展起来的，在古代，人们只有有限，且不太系统的科学知识；科学与生产的联系也不像今天这样直接和紧密。古代工程技术，主要表现为累积了世代经验的生产手段和方法，这些手段和方法，有的经过了一定的总结和概括，有的就蕴含于生产过程之中。当然，由于目的及所采用的手段和方法的不同，古代工程技术也形成了许多门类。就中国古代工程技术而言，最为主要的有以下内容：采矿技术、冶铸技术、机械技术、建筑技术、水利技术、纺织和印染技术、造纸和印刷技术、陶瓷技术、军事技术、日用化工技术等。这些门类，也就是《中国古代工程技术史大系》所要包括的内容。

在科学技术突飞猛进的现代，来研究中国古代工程技术史，我觉得不能不思考三个问题，一是中国古代工程技术发展的特点或规律，二是中国古代工程技术实践的历史意义，三是中国古代工程技术实践的现实价值。我是学现代工程技术的，近些年因工作关系，与科学史界有较多接触，这次《中国古代工程技术史大系》编委会要我担任主编，也促使我有意识地对这些问题进行了思考，借此机会，谨将一些初步的认识梳理罗列于下，以与海内外科学史界的朋友交流、讨论。

**（1）中国古代工程技术发展的主要特点**

根植于中华农业文明，发展进程具有连续性、渐进性和相对独立性。

国家因素起着重大作用，具有强大组织功能的中央集权制国家机器推动产生了一系列规模宏大的工程技术实践。

独特的环境、独特的资源和独特的历史，孕育了诸多独特的发明创造。

辽阔与各具特点的地域，既孕育了丰富多样的技术成果，也导致了技术发展的地区差异

**（2）中国古代工程技术实践的历史意义**

与中国古代农业技术相结合，共同构成了中华农业文明体系的技术基础。

以富有特色的大量发明创造，形成了世界古代工程技术的独特体系。

以一系列独具匠心的发明，对人类文明进步和近代世界发展作出了贡献。

凝聚了中国古人对于自然以及人与自然关系的丰富而独到的认识。

**（3）中国古代工程技术实践的现实价值**

当前我们正面临一个全球化的时代，现代化和全球化不能以失落传统为代价，未来世界应当是一个高度发达，同时又保有多样文化传统的多彩世界，中国古代工程技术实践的成果结晶既是中华民族文化传统的有机组成部分，也是人类科学技术传统的重要组成部分。

基于“敬天悯人”的意识，中国先贤一直以“顺天而动”、“因时制宜”、“乘势利导”、“节约民力”为工程技术活动的重要原则，由于多种因素的交互作用，既有成功，也有失败，这部“悲欣交集”的历史长卷，对于今天的工程技术实践乃至整个人类的活动，仍有丰富的启迪意义。历史的经验和教训从来都是一笔宝贵的财富，后来者要善于以史为鉴、服务当今、创造未来。

以上诸点，只是粗线条的概括性认识。我相信，本书各卷的撰著者，必然都从各自的领域和角度对这些问题进行了深入的思考，并以大量的资料进行论证，从而得出自己独立的见解，为读者展现出丰富而生动的学术成果。

中国科技史研究以往存在重数理而轻技术的现象，我希望这次通过编纂《中国古代工程技术史大系》，能够集中全国各方面专家学者的力量，对中国古代工程技术实践进行系统的整理和研究，力求科学地理解中国古代工程技术发展的历史，并对以往有关中国古代工程技术史的研究进行一次总结。

# 前 言

中国有几千年的文明历史，古代科学技术的成就，博大精深，辉煌灿烂，源远流长，曾在一个相当长的历史时期里，走在世界最前列，脍炙人口、举世赞誉的四大发明——造纸、印刷术、火药、指南针，对西方近代科技的创立、兴起及人类社会的进步，起了巨大作用。在光彩夺目的中国古代科技发明中，井盐钻采工程技术，乃同“四大发明”一样，是属于中国、亦是属于人类社会重大的科技成果。

中国泉盐和井盐生产，历史悠久，名扬中外。上至新石器时代晚期（盐泉发现和利用），下迄清（代）末，上下四千多年。特别是从公元前250余年开始，至1840年鸦片战争以前，历时约2 100年，中国井盐开采技术一直遥居世界领先地位。在这漫长的历史时期里，井盐钻采工程技术不断进展和完善，屡有发明和创造，取得了举世无双的成就。

六年以来，我们潜心研究，广揽博采，并遵照“大系”的宗旨、内容、体例要求，撰成《中国古代井盐及油气钻采工程技术史》卷。在此，特将本卷的基本内容、各章之间的关系及钻井技术在中国科技史上和世界钻井史上的特殊地位，加以简洁的说明。

## 一、井盐卷的基本内容

### （一）我国古代井盐及油气钻采工程技术的主要成就，有四项遥居世界领先地位，成为世界最早的重大发明和创造

1．我国古代钻井技术的重大发明——为现代钻井技术开创了先河

我国古代井盐深井钻探技术，于北宋中期发明（北宋中期以前为人工挖井技术），明代获得重大改进，清代臻于完善。特别是北宋中期（1041—1054）发明的卓筒井工艺，则是中外钻井史上的一块丰碑，具有划时代的意义。它的重大科技价值及历史价值：一是在人类历史上首次发明了先进的机械钻井技术，取代了落后笨重的人工挖井方法；二是开创了现代钻井技术的先河，奠定了现代深井（如油气井等）的雏型；三是卓筒井工艺的发明和发展，为向地层深部开拓，开采地下深处岩石中富存的盐卤、石油、天然气及地下水等矿产资源，创造了极为有利的条件。

继我国北宋中期卓筒井发明之后，俄国和美国的钻井技术，先后也得到了发展。据两国史料记载，俄国应用钻井技术开发盐田，肇始于12世纪。美国使用钻井技术钻探盐井，发端于19世纪初。为此，俄、美两国初始的钻井技术，分别比我国要晚约一个世纪和七个多世纪。由此可证，中国是世界上最早发明钻井技术的国家，理所当然推崇应为世界第一。

2．我国古代石油和天然气独创的钻采工艺技术——遥居世界油气钻采技术领先的地位

（1）中国最早钻成世界第一口石油井

我国不仅是世界深钻技术最早的发明者，亦是世界石油井最早的开拓者。

我国至迟在西汉，陕北高奴县的人民就发现了石油。在古代，中国是世界上最早发现和利用石油仅有的少数几个国家之一。据东汉历史学家班固著的《汉书·地理志》卷三记载，高奴县的洧水，“水上有肥（即石油），可接取用之”。可见，中国先民较早就开始发现、采集和利用石油了。但是，钻井采油技术，西方却起步很晚。中国人在明代应用卓筒井钻凿技术，最早钻成世界第一口石油井，实现了石油钻采新工艺的应用。

这口石油井是在钻探盐井过程中发现了石油，史称“偶得油水”①。由此，即将盐井改名为“油井”，根据明代盐井的钻探水平，可认定油井深度在 300 ~ 400 米。它的钻成年代，乃是明朝正德末年（1521 年）；油井地址，在四川嘉州（今四川乐山地区）。至此，四川的油井在各州县如雨后春笋般地发展起来。我国四川嘉州钻成的油井，比俄国技师西蒙诺夫于 1848 年钻成的第一口油井要早 327 年；又比美国狄拉克在 1859 年钻成的第一口油井早 338 年，而且油井钻深也远远超过俄、美两国油井的深度。

（2）我国古代天然气开采技术和天然气新能源的利用，处于世界领先水平

早期，世界上最早发现和采集天然气的亦只有少数几个国家（中国名列其中）。但这种发现和采集多属地面零星的气苗。而从地下大量的、集中地开采天然气和天然气新能源的利用，我国则是世界上最早的国家。两千多年以来，四川井盐生产在井盐开采过程中，不仅发现了有工业价值的石油，而且还发现了极丰富的天然气。天然气的开采和利用，乃是井盐生产的一个重要组成部分，并取得了举世瞩目的成就，主要有三点：第一，汉代，川西人民创建了我国油气史上第一口著名的天然气井——临邛火井。它也是世界最早创建的第一口天然气井，堪称世界气井之最。这口气井的建成，并将天然气新能源用于制盐工业，乃是人类认识和利用新能源的开端，也是现代大规模开发利用石油和天然气的前奏，比西方世界（如英国 1668 年）利用天然气新能源要早 13 个多世纪。为此，临邛火井创建成功，在世界新能源开发史上居领先地位。第二，我国古代天然气开采最大的成就，则是集中表现在对举世闻名的自流井气田大规模的开发。这个气田从明代中叶后开始大规模开采，至清代咸丰同治年间达到鼎盛。气田先后钻井 13 000 余眼，仅嘉$_{三}$气藏②，累计采气量近 170 亿立方米③，成为当时世界第一个被开发的大型气田。这个气田采出的天然气，作为制盐的新燃料，促进了井盐生产飞跃的发展，从而为把自贡建成祖国著名的“盐都”及我国最大的井盐生产基地，起了极其重要的作用。同时，在自流井气田开发中，还发现了日产 100 万立方米的特大型气井——火井王磨子井，古称“天下第一大火井”，又成功地钻采了长期高产、稳产达一个多世纪的奇特气井——贡井东源井，该井已载入史册，成为井盐史和油气史上的一块“瑰宝”，供中外游客参观，专家学者科学考察和研究。第三，天

---

① 见本卷第八章第一节。

② 系三叠系嘉陵江组嘉三段气藏，简称嘉$_{三}$气藏。

③ 见本卷第八章第三节。

然气开采技术的重大发明——世界独特的簾盆采气装置。簾盆以木制成，上小、下大、内空，如截锥体形，安装在地面井口之下，其结构简单，设计科学，具有多种独特的功能：即有降压的功能（降低天然气的压力）；气水分离的功能；配风的功能（自动调节天然气和空气的混合比例，提高天然气的热值）；防爆的功能（防止天然气的爆炸）；预防毒气的功能（防止 $H_2S$、CO 等对人的毒害）；防洪排水的功能；边作业边采气的功能。尤其是一面进行井下作业（采卤、钻井、修井等），又一面进行地面采气，即作业与采气两不误的功能，比现代油气工业中（如钻井工程）所采用的旋转放喷器等多种设施和复杂操作更为简单，功能更全，令中外专家赞绝。为此，簾盆采气工艺的发明，则是古今世界上绝无仅有的低压天然气采气技术。

3．我国岩盐钻井水溶法的创建——把世界岩盐开采技术提高到了一个新的阶段

我国岩盐的发现和开采，源远流长，最早可以追溯到周朝。从周朝到清代中期，岩盐采用露天开采或人工挖掘大口浅井开采或井巷旱采。而岩盐钻井水溶开采，还是从清末四川自贡地区开始的。1825 年至 1892 年，自流井大坟堡岩盐矿床被发现，至此，便揭开了我国钻井水溶开发的历史。这个盐矿开采技术先进，采收率高，跃居世界第一。

（1）自流井大坟堡岩盐矿床是我国最早发现和开采的第一个深层盐体。该盐体的发现，开阔了人们的视野，拓宽了对盐矿资源的认识，开辟了新的卤源，从而改变了川盐生产 2 000 多年来长期仰依自然卤水的局限，即由自然卤水的开采，转入固体岩盐钻井水采，乃是采矿技术突破性的进展。

（2）首创了岩盐钻井水溶法。岩盐钻井水采，分单井和多井开采，而多井开采——盐井连通开采，至今仍是世界最先进的采盐工艺。我国四川自贡大坟堡盐体，于 19 世纪末，已首创了井组连通开采新工艺，把岩盐开采水平提高到了一个崭新的阶段。西方（如美国）在 20 世纪 50 年代才开始用两井连通开采，比我国要晚约 50 年。

（3）岩盐矿床采收率高。盐体采收率大幅度的提高，与采卤工艺、盐层顶板岩层稳定、钻井密集、掌握注水规律等多种因素有关。而其中采卤工艺即井组或多井连通开采，则是最重要的因素。先民创造性地采用多级岩盐溶腔连通开采，对于大幅度提高采收率起了关键性的作用。其采收率高达 92.5%①，创造了世界的奇迹。西方岩盐井组连通开采，最高采收率可达 50%，与我国自流井大坟堡盐体采收率相比，确实不可同日而语。

4．我国古代井盐地质初步的建立

我国古代井盐地质，从战国末发轫，历经长足的进步和发展，至清代，日趋成熟，在蜚声中外的四川自流井背斜构造上，初步创立了中国古代井盐地质。主要表现在：（1）深部地层系统剖面的建立。古人在自流井构造上，为开发丰富的卤气资源，先后钻井 13 000 余口，其中井深约 900 ~ 1 000 米以上的有 2 000 口左右，亦即是说，在这个地质构造上，钻获了 2 000 条左右纵深（约 900 ~ 1 000 米以

① 见本卷第七章第三节。

上的）地质剖面，取得了一套完整的地质资料，能正确鉴别、系统划分各种地层：一是详细地划分出从地面（侏罗系自流井群）到地下（三叠系以上）千米深的系统地层；二更为可贵的是发现和确立了地面（黄姜岩）和地下（绿豆岩）两个地质标准层。前人发现的绿豆岩标准层，至今仍作为四川勘探三叠系油气及盐卤资源设计的依据；三是纵深产层多，在钻探1 000米深的地层中，发现和开采了气、卤多达13层。（2）先民对自流井背斜构造的认识——“地脉说”的创立。1 400多年来，先辈在自流井构造上凿井开采卤气，从生产实践中积累了丰富的地质知识并升华为实用理论，创立了“地脉说”①。其内涵与现代地质“背斜论”相同。先民应用此说，成功地开发了举世闻名的自流井气、水田。最突出地表现在：其一，地质构造“高点”的确立（即火井王——磨子井定在构造“高点”上）；其二，以构造“高点”为中心，沿长轴（古称“地脉线”）布置气井；其三，对构造裂缝的确定。关于卤水的钻探，先民明确提出，打“断岩”（今地质名“断层”）、钻“裂缝”“横缝见水”“立缝见气”“断岩水丰”②等。经现代地质研究证实，自流井气、水田是一个裂隙性的地质构造，与古人的认识基本是一致的。为此，我们的先民，在一个半世纪以前，已经认识到了裂缝性气、水田的规律，比西方在20世纪50年代初认识和开发裂缝性油气田要早约一个世纪。（3）“岩口簿”的建立——古代地质和钻井的原始记录。我国古代井盐建立的“岩口簿”，则是将现代地质（岩屑）录井记录和钻井工程记录融为一体。不仅反映了我国古代钻井技术的成熟，而且有着最翔实、最丰富、最系统的深井地质记录，具有重大的历史价值和科学价值，它是世界古代地质和钻井宝库中最珍贵的财富。

“地质学成为一门独立的科学，那是在近200年前的事。”③当时，国外地质学研究的内容及特点，偏重于地球起源、地壳运动史及野外地面地质（矿产）考察等，而对于地下深层地质、深部矿产资源的研究和开采（这时国外尚无一口千米深井，哪里谈得上深井地质），可以说是一个空白，有的顶多属于浅井的钻探。这一时期，我国古代井盐地下深部矿产资源的钻采和井盐地质初步的创立，正好填补了这个空白。

### （二）井盐钻采技术的发展与社会的关系

钻井技术应用之目的，是要获取地下卤、气资源，然后以卤作原料，气作燃料，煎制成盐。

在古代，盐是“百味之祖”“食肴之将”“国之大宝”也。因此，食盐既是人们生活和生存不可缺少的重要物质；盐税又是历代封建王朝财政来源的重要“支柱”，攸关国计民生之大事。正因如此，历朝历代的统治者们才牢牢控制盐业，严格实行食盐专卖。为此，作为开发井盐生产的钻采技术，它的发明和发展，自然就与社会的关系十分密切了。

春秋战国，是我国历史上奴隶社会崩溃和瓦解、封建社会形成和开端的时期。

---

①②见本卷第九章第二节。

②见本卷第九章参考文献［10］。

③见本卷第一章第三节。

四川也经历了由奴隶社会到封建社会的大变革。公元前316年，秦国灭巴、蜀，自此，四川地域归为秦统治的一部分。秦为巩固在巴、蜀的统治，废除巴、蜀的奴隶制，实行封建制。同时，采取各种有力措施，开发巴、蜀，发展社会经济。秦统治四川时期，随着北方中原地区先进的打井技术的传入，冶铁业的发展，铁工具的使用及四川经济的发展，在公元前255年至公元前251年间，蜀守李冰率领川西民众开凿了我国第一口盐井——广都盐井，从而产生了我国古代井盐凿井工程技术。

我国大口盐井，创始于战国末期，汉获大发展，唐臻于鼎盛。至北宋前期，由于大口井的衰落，井卤的枯竭，人口的增殖，社会的战乱，造成食盐产量大幅度下降，食盐奇缺而昂贵。于是，四川社会发生了长达近一个世纪的罕见盐荒，以仁宗时期最为严重，人均年用盐500余克，民众长期苦于淡食之中。为了寻求出路，国家钻采地下新的卤源，增加食盐产量，以满足社会的需要。为此，四川井研县盐区的井匠技师，经过长期探索，于北宋庆历、皇祐年间，发明了新型的卓筒井工艺，即钻井技术。

明初，由于战争的影响，生产力落后，钻井技术仍停滞在宋、元（代）卓筒井的水平上，盐业生产还没有恢复到宋代的水平。明代后期，明王朝针对盐政上的弊病（如盐课繁重等），重新调整盐政，放宽政策，鼓励民间广开小井，减轻盐课等，使井盐生产有了较大的发展。同时，钻井技术在宋代的基础上，又有了巨大的进步。主要反映在钻井工艺的进展，凿井工具得到新的改进，出现了先进的铁钎钻头及铁五爪打捞工具等。

清王朝建立后，承袭明制，但又有所改革。清初，为了恢复和发展四川井盐生产，放松对井盐生产的限制，允许自由凿井、自由采煎、自由贩运，“听民穿井，永不加课”① 等积极措施。于是，川盐业获得了迅速的恢复和全面的发展，使“蜀盐始蹶而复振”。正是在这种社会背景下，钻井技术日臻完善，盐井钻探不断向地层深部开拓，至1840年鸦片战争前夕，四川富荣（自贡）盐场钻井深度达1 001.42米，就是最佳例证。

### （三）古代井匠发明的技术思想

——人的设计、制作中的思想

中国古代钻井技术的发明和演进，涉及多因素，但总括起来，主要有社会原因、自然条件及技术思想。如果说，前二者是直接诱发凿井技术的原因，那么，后者则是实现这一革命之目的和手段。但是，如何来实现和保证凿井技术革命呢？乃是井匠技师们千方百计、殚精竭虑地在设计、制作过程中，采用了两种技术原理。一是借鉴了其他行为（如农业、手工业）的机械技术原理；二是模仿动物的动作或植物的构造或物体的形状，从而为钻井技术的发明和演进提供了技术上的保障。如宋代凿井“碓架”的创制，是井匠借鉴了古代“脚碓”的原理（一种杠杆原理），明代奇巧的“铁五爪”工具研制成功，是井匠模仿了人手五指灵活的动作。清代井下探测器——

---

① 见本卷第六章第一节。

"木孩儿"和"泥孩儿",① 是井匠模仿人孩儿手脚运动发明的井下机器人等等。这些都反映了当时巧匠们在设计、制作过程中的技术思想。

(四) 传统钻采工程技术在当今盐卤开发及油气勘探等行业中的应用

中国是人类深井钻采技术的先驱，近1 000年以来，以开发井盐、油气为中心，形成了独特的工艺技术体系，取得了精湛的无与伦比的成就。过去为人类社会的进步作出了卓越的贡献。时至今日，它依旧放出光彩，在盐卤开发及油气勘探等行业中应用并继续产生潜在的、巨大的经济效益和社会效益。

1. 应用传统钻采技术，为自贡盐场的恢复和发展作出了新的贡献

新中国建立后，四川自贡盐场的井匠，直接应用传统钻采技术，在恢复旧井、加深老井、钻探新井、开发地下盐卤和天然气资源，为祖国的"盐都"自贡三年国民经济的迅速恢复及第一个五年计划的实现作出了贡献。于是井盐业获得了飞速的发展，如1951年，全市产盐为22.24万吨，比1949年产盐12.05万吨提高85%；1956年产盐猛增到41.69万吨，又比1951年提高了87%。自贡盐场突飞猛进的发展，是应用传统钻采技术，在今天新的历史条件下，作出的新贡献。

2. 应用传统钻井技术，新发现了自贡郭家坳岩盐矿床

1956年，郭家坳盐厂（今自流井盐厂）凿井工匠应用传统钻井技术，在自贡盐场历史上著名的火井坡老矿区，新发现了一个岩盐体，这个岩盐体的发现和开采，累计产岩卤1 016万立方米，不仅为自贡盐场增加了丰富的卤源，而且亦为张家坝化工厂提供了宝贵的化工原料，从而创造了巨大的经济效益。据《自流井盐厂志》述道："从建厂至1990年，累计生产卤水1 300多万立方米，天然气4亿多立方米，产盐365万吨……实现利税4.429亿元。"这个盐体，目前还在继续采卤制盐。

3. 应用传统钻井技术发现了贡井张家山气藏

继1956年郭家坳盐体发现后，于1964年，贡井盐厂仍用传统钻井技术，在该厂张家山源丰井加深中，又新发现了丰富的天然气，并接着又钻采了一批新气井。张家山矿区，位于自流井气田的西端，其地新发现天然气，不仅使经过1 000多年开采，面临枯竭的自流井气田焕发了青春，而且亦为制盐提供了大量的能源。1964—1997年，累计产气约8亿立方米，平均每立方米气按0.50元折计，则创造经济价值约4亿元。这个气藏至今仍在开采，为建设盐都自贡发挥了作用。

4. 传统钻探工具科技原理的应用

我国井盐传统钻井和修井工具，是钻井技术一个重要的组成部分，其种类繁多，规格齐全，巧夺天工。它不仅直接为开发卤气资源所应用，而且其科技原理，还为现代油气勘探和地质矿山等行业进行设计、革新工具发挥了启示和借鉴作用。如川西南矿区的工程技术人员，借鉴传统井盐工具的科技原理，研制了多种先进的油气勘探工具。如"打捞杯"工具创制成功，成倍地提高工效，同时获取了显著的经济效益。又如，自贡矿山钻头厂，吸取了井盐工具的优点，创造出了西南第一流的地质矿山钻头（挺进牌银锭钻头、马蹄钻头、十字钻头），并畅销全国各

---

① 见本卷第一章第一节（三"清代钻井技术的完善"）。

地，深受用户欢迎。

## 二、本卷各章之间的关系

《中国古代井盐及油气钻采工程技术史》内涵非常丰富，涉及学科广泛，按全卷的内容共分十章，各章的基本内容及相互之间的关系如下：

第一章“世界钻井的先驱”。此章主要论述本卷的学术价值。着重明确三点：一是钻井技术的发明和演进，自宋代卓筒井的开创，到清代燊（兴）海井千米深井的钻成，标志着我国古代钻井技术水平达到了世界高峰阶段；二是中国钻井技术的西传和中外专家、学者对钻井技术的评价。古代钻井技术，于北宋中期发明，明代中叶后获得重大改进，清代中后期趋于完善，并一直领居世界先进水平。这项重大发明，于11世纪末（或12世纪初）至19世纪以前，先后传入西方世界，从而推动了西方世界钻探技术的发展及现代石油（包括天然气）工业的兴起，为人类社会的文明和进步作出了杰出的贡献。因此，被国外誉称“世界钻井之祖”“世界石油钻井之父”①。这是在我国“四大发明”之外，又添一项世界发明，由此，不少专家、学者称之为中国对世界的“第五大发明”；三是食盐在古代社会中的重要地位和作用。盐、铁历来是封建国家两大经济命脉。在古代，食盐是一种特殊商品，它以无穷的魅力，广泛渗透到社会各个领域里，涉及经济、政治、军事、国家的兴衰，乃至朝廷政权的更替。为此，盐在古代社会中的重要地位和作用，不可低估。第二章盐泉的存在和确立，填补了四川盐史的空白，开创了中国井盐史的先声。

第三至六章及第十章，为翔实系统的凿井工程技术史。中国古代井盐凿井工程技术的发明和演进，根据凿井时代、钻采工艺及地质条件等不同因素，大致可分为四个时期：即新石器晚期至战国末为盐泉时期；战国末至北宋中期为大口盐井挖掘时期；北宋中期至清初为卓筒井钻凿时期；清中期至清后期为小口深井钻探时期。本卷撰写侧重于自宋经明至清（代）钻井工程技术的发明、发展、完善、创新及丰富的阶段。这一阶段，中国钻井技术代表了世界最高水平，反映了世界钻井技术发展的方向和主流，形成了世界钻井技术的中心和策源地，具有重大的科技价值。

在古代，井盐生产最主要的一环是凿井，而且凿井工程艰巨。凿井之目的，则是充分揭露地下埋藏的卤、气资源，为开采提供先决条件。为此，凿井、汲卤、采气，也正是井盐生产的特点，以此区别于海盐和池盐。

第七至八章，“岩盐和油气开采新工艺”。随着钻井技术的发明，岩盐和油气开采新工艺应运而生。如岩盐钻井水溶连通开采法的创建及世界绝无仅有的簾盆采气装置等就是例证。这些新工艺用于开采地下深层盐卤和油气资源，取得了巨大的成就。

第九章，“我国古代井盐地质的初步创立”。我国井盐地质起源很早，最早可以追溯到公元前3世纪。但井盐地质是伴随着井盐生产而诞生，也伴随着井盐生产的发展而发展。至清代，由于钻井技术的完备，深井钻探不断地涌现，地下深层

---

① 见本卷第一章参考文献［1］、［3］。

的盐卤和天然气被大规模地开发，盐卤生产空前繁荣。于是，深井地质现象也大量地被披露，井盐地质资料不断地积累和丰富，从而初步创立了井盐地质。反过来，井盐地质的发展和日趋成熟，在井盐生产中，对于卤气资源的开采、新钻井位的选定，又起着先锋和指导作用，促进了井盐生产的大发展。

由上得知，第一章世界钻井的先驱，从钻井技术的发明和发展及其西传，论述了井盐卷的学术价值。第二章泉盐生产，反映了四川盐史的悠久，在中国井盐史上占有特殊地位。第三至十章，以翔实而系统的史实，写成井盐钻采工程技术史，反映了井盐卷的科技价值、历史价值、实用价值。同时，也为第一章提供了可靠的史证。为此，全卷各章是前后一致，首层紧密相连的。

## 三、钻井技术在中国科技史上和世界钻井史上的特殊地位

前已提及，中国古代科学技术，曾经在一个相当长的历史时期里走在世界最前列，正如英国世界著名科技史专家李约瑟博士所说：在15世纪以前，特别是13世纪以前，中国科学技术取得了光辉灿烂的成就，“保持一个西方所望尘莫及的科学知识水平”（李约瑟：《中国科学技术史》第一卷）。然而，16世纪以后，由于封建制度严酷地约束，闭关自守的国策，文化思想的专制，加之帝国主义的侵略等原因，严重地束缚和阻碍了我国科学技术持续地向前发展，致使中国明清时期以来的科学技术逐渐落后于西方。但是，唯独中国古代井盐钻井技术在明清时期例外。

中国井盐钻井技术，于11世纪中叶发明，至16世纪，钻井技术不仅没有落伍，反而突飞猛进地向前发展着，到19世纪30年代初，四川自贡燊（兴）海井钻深突破千米大关，成为世界第一口超千米的深井，一举登上世界钻井技术的最高峰，这又是令西方望尘莫及的科学技术水平。为此，中国井盐钻井技术从16世纪至19世纪，仍名列世界前茅，保持世界领先地位，成为中国古代科学技术宝库中的一枝独秀，一颗璀璨夺目的巨星。由此，它在中国古代科学史上应占有特殊的地位。

综观整个世界钻井发展史，其中经历了五次重大的发明和发展。第一次，中国北宋庆历、皇祐年间（1041—1054），卓筒井新技术的发明，开创了现代钻井技术的先河；第二次，明代万历年间（1573—1620），钻井技术（系指钻井、固井、打捞、修井技术）在卓筒井的基础上，又有突破性的进展；第三次，清代道光中叶（1835年），四川自贡地区钻井深度超过了1 000米，创造了当时世界上深井的纪录；第四次，19世纪末，西方旋转钻井技术的发明。1901年，美国首次用旋转钻井技术开发追顶油田。旋转钻井法研制成功，乃是继卓筒井发明之后，世界钻井技术又一大飞跃，它标志着现代钻井技术的开端；第五次，1970年后，世界上钻井技术有重大的突破，科学钻探万米和超万米的超深井相继出现，开创了人类钻井史上的新纪元。现代钻井技术飞跃的发展，可与航天技术媲美。总之，近1 000年以来，在世界钻井史上，其重大的发明和发展先后有五次，其中前三次发生在古代中国，后两次出现在现代西方，主要是苏联和美国。即是说，古代钻井技术，中国领先世界第一；现代钻井技术，西方跃居世界前列。为此，中国古代钻井技术，在世界钻井史上应占有特殊的地位。



# 目　　录

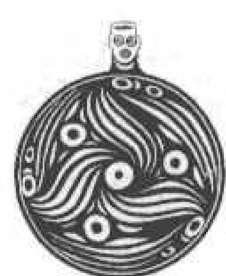
















# CONTENTS



























# 第一章
## 世界钻井的先驱

中国古代井盐凿井工程技术，自战国末伊始（秦及秦以前为盐泉），迄至北宋初卓筒井发明才有了重大突破，到明代获得进展，到清代臻于完善。钻井技术的发明和演进，不仅与社会密切相关，而且也与自然条件、技术思想紧紧相连。

我国钻井技术的创造，不仅是属于中国，也是属于全人类的重大科技成果，并先后传入西方世界，推动了西方钻井技术的发展和兴起，为现代石油（包括天然气）、盐卤、地下水等矿产资源的勘探和开发开辟了道路。因而，被誉称为“世界石油钻井之父”[1]“钻井工艺技术的先驱”[2]。它是继我国“四大发明”之后，又一重大的世界发明[3]。

在古代，食盐是一种特殊的商品，它以无穷的魅力渗透到社会的各个领域里，不仅涉及国家经济，而且关系到政治、军事、国家的兴衰，乃至朝廷的更替。为此，盐在古代社会中占有重要的地位和作用。

### 第一节　中国古代钻井技术的发明和完善

我国是世界钻井技术的发祥地　钻井历史悠久，经历了漫长岁月的进步和发展。自战国末期到北宋中期“圜刃”钻头和“卓筒井”的发明，至此，钻井技术才有重大的突破。[4]又经宋、元、明、清历代相承，不断发展和完善，从而达到了高峰阶段，走在世界各国的前列。清道光十五年（1835 年），燊（兴）海井最早钻成世界第一口超千米的深井，就是最佳例证。

我国古代泉盐和井盐生产技术，从新石器时代晚期至 19 世纪，尤其从公元 3 世纪以后，不断进展，根据钻凿盐井使用的不同工具、井型特点、地质条件、地下卤气资源埋藏的深浅等因素，大致可分为四个阶段：

第一，盐泉阶段（从新石器时代晚期至战国或秦代）。盐泉是天然形成，不属于人工凿井阶段，但是，在川盐史和中国井盐史上占有重要地位。

第二，大口盐井阶段（战国末到北宋中期）。这一阶段的盐井，全是人工用锄、镐、铲等农用工具挖掘而成的，其种数繁多，遍及全川，至唐代达到鼎盛，最





少有盐井“六百四十”口①。但盐井口径大小不等，深浅不一。这时的盐井以陵州（今四川仁寿县）“陵井”和“狼毒井”为典型代表。陵井实属特大型盐井。其凿井浩繁，工程巨大，堪称我国和世界井盐史上的伟大奇观；第三，卓筒井阶段（北宋中期至清初）。11世纪中叶，我国钻井技术发生了一次深刻的大革命，开创了“卓筒井”新工艺，标志着盐井钻凿技术，从大口盐井阶段已进入了小口深井阶段。卓筒新工艺的诞生，为现代钻井技术开了先河；第四，小口深井阶段（清中期至清末）。这一阶段，在卓筒井工艺的基础上，不断进行改进和创造，形成了一套完整和独特的钻井技术，其深井钻凿工艺划分为九道严密的工序。同时，创制了种类繁多、规格齐全、巧夺天工的钻井、打捞、治井为系统的工具群。于是，清道光年间，千米深井的钻探相继出现，开发了以自流井的构造为代表的深部嘉$_{五}$段的黑卤和嘉$_{三}$段的天然气。这时，标志着盐井钻探已进入了深井阶段。清代钻井工艺技术的完善，又为现代钻井技术奠定了坚实的基础。

在上述四个阶段中，卓筒井和小口深井（宋至清代），则是我国钻井技术发明、创新、改进和丰富的阶段，代表了我国古代钻井技术新的水平，也反映了世界钻井技术发展的方向，因而，价值最大，是本书研究和总结的重点。

### 一、宋代钻井技术的发明
### ——开创了现代钻井技术“三大”基本程序

北宋中期，卓筒工艺的开创，乃是我国也是世界最早发明的钻井技术。这种工艺技术，与现代石油（包括天然气）工业中应用的顿钻钻井方法类同。它比美国创造的顿钻技术至少要早七个多世纪。

关于卓筒井的出现，北宋苏东坡、文同、范镇三位四川名人②，在他们的著作中，都有明确的记载，其中苏轼记述最详尽：

“自庆历、皇祐（1041—1054）以来，蜀始创筒井。用圜刃，凿如碗大，深者数十丈。以巨竹去节，牝牡相衔（公母榫连接）为井，以隔横入淡水，则咸泉自上。又以竹之差小者出入井中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入井中，气自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。凡筒井皆用机械，利之所在，人无不知”[5]。

苏轼不愧为文豪，文笔非常简练，介绍卓筒井的内容十分丰富，归纳起来，主要有以下六点：

其一，井径小，一般“如碗大”，仅容一筒，约10～20厘米；其二，钻井使

---

① 据（宋）欧阳修等撰《新唐书》卷五四记载：“唐有盐池十八，（盐）井六百四十。”另，吉成名《唐代的井盐生产》（载《盐业史研究》总第6期，1989年）则认为：《新唐书·食货志》记载“井六百四十”这个数字没有把南诏地区的盐井数计入。《蛮书》卷六就记载：“‘又威远、奉逸……城内有盐井一百来所。’其他地区还有盐井。估计唐代盐井数至少在740所以上。”还有，刘广志主编《中国钻探科学技术史》（地质出版社，1989年）中云：“估计唐代盐井数至少在700～800口。”吴天颖著《井盐史探微》（四川人民出版社，1992年）述道：“《新唐书·食货志》有关井盐的记载，反映了唐代末年川盐鼎盛时的情形。……足证唐有盐井六百四十的记载。”作者认为：最少，唐代有盐井六百四十口。

② 三位名人：大文学家、诗词家苏东坡（1037—1101），四川眉州（今眉山）人；诗人兼书画家文同（1018—1078），四川梓州（今盐亭）人，且多次在四川做官；文学家范镇（1007—1087），四川华阳（今成都市）人。他们是当时卓筒井的目睹者，尤其是文同，在陵川（今四川仁寿县）做知州时积极奏请朝廷扼杀、封闭卓筒井。



用了先进的“圜刃”钻头（即新发明的冲击式钻头），钻捣井底岩石，使井不断加深，直到设计井深为止；其三，先打出上部大井（径）段，随即巨竹去节，“牝牡（公母榫）相衔”，下入井内作表层套管，以“隔横入淡水”，便于推汲咸卤（水），有利生产和延长盐井的使用寿命；其四，发明了取泥和汲卤的竹制容器，即小于表层套管内径的用楠竹制作的汲筒，筒底悬熟皮作单向阀，十分巧妙地将井内泥砂或卤水汲入筒内，然后从井底提升到地面，成功地解决了深井钻凿取泥砂和生产汲卤的重大技术关键；其五，钻井或生产时都用了机械，获取事半功倍的效果，“凡卓筒皆用机械，利之所在，人无不知”；其六，卓筒工艺发明的年代，是在“庆历、皇祐（1041—1054）”年间。根据“圜刃”钻头的考证，其结构不复杂，容易制作；钻井工艺先进，操作方便；材质简单，如铁、木、竹材质可就地索取；钻井工具（包括地面设施）轻便，搬运不困难，既适合于丘陵和平原，又适合于山区。由于有上述优点，于是，卓筒工艺得以迅速传播、推广和应用。

卓筒井的发明，其工艺技术主要特点和成就，是开创了现代深井（如盐井、油气井）的雏形，即包含了现代钻井三大基本程序，或称三大基本要素[6]：第一，用圜刃钻头破碎岩石；第二，用泥筒取出井内的岩砂（岩屑）；第三，下木竹套管固井保全井壁。

（一）世界钻井史上发明的第一个钻头——“圜刃”锉

“圜刃”锉是人类钻探史上发明的第一个钻头。它的发明，创造了现代深井钻头的雏形，因而，成为现代钻头的始祖。

凿井钻头的发明和发展，同其事物进展一样，由简单到复杂，由低级到高级，即早期的“圜刃”钻头发展到现代的鱼尾钻头、齿轮钻头、涡轮钻头及巴拉斯钻头。

现代深井钻探技术，尤其目前世界上超深井的钻井钻头和基本原理，追根溯源，它的祖先乃是我国北宋初发明的“圜刃”钻头和“卓筒井”工艺的继承和发展。

11 世纪中叶，中国四川井研盐区的井匠技师们，经过长期的探索和实验，在世界上最早研制成功了第一个深井钻头——“圜刃”锉。“圜刃”是开创卓筒井的钻头，它的形制和结构，根据苏文的记载和古代钻头及钻井原理等进行考证，认为：苏轼以“圜刃，凿如碗大”六个字，描绘了“圜刃”钻头的基本形状。其一，圜刃钻头原始形状呈圆形；其二，在圆形的钻头上有刃锋；其三，锉头的直径与碗口（径）相当；其四，碗的口径就是“卓筒井”的井径。因圜圆相通，圜和刃的结合，故名“圜刃”锉，即“圜刃”钻头。圆为主体，其底部横凸“一”字刃，锐利，易于破碎岩石。由于这种钻头先进，井匠在地面操作机械，钻凿卓筒井，比汉唐时期，人工手持锄、锸、锹等原始农用工具于井下艰苦作业，挖掘大口盐井，具有钻井工艺先进、工效高、劳动负荷轻、获利丰厚等优越性，因此，“圜刃”钻头的问世和卓筒井的诞生，是世界钻井史上一次大革命。同时为现代深井钻头的出现和发展奠定了基础。

无独有偶，继我国圜刃钻头和卓筒井发明700多年后，美国人拉夫纳兄弟俩开始用冲击式钻井的方法，即一种十分简单的机械原理，开创了“卓筒井”似的盐





井，其井深18米（59英尺），凿井钻头直径7.6～10.2厘米（3～4英寸），是用铸钢制作的，它的规格、形制与“圜刃”钻头大致类同[7]。

（二）世界钻井史上最早研制的第一个井下取岩（屑）工具——掮“泥筒”①

北宋初，用圜刃钻头开创的卓筒井，是一种冲击式顿钻方法，它与现代石油（天然气）工业中所用的绳式顿钻钻头技术基本相同。

在冲击式顿钻钻井中，及时取出井内粉碎的岩屑，十分重要。一是能提高钻井速度，加快进度；二是能及时考察井身质量是否符合要求（即是否出现井斜或井身不圆的情况），如钻井质量不符合要求，便立即采取措施，进行处理、纠正；三是在钻井时，发现了新的来水（卤水）和天然气的征兆，必须推水或多掮泥，直到井底泥砂（岩屑）掮净，推水把气拉顺，以免所出的卤水或天然气受到泥砂的阻塞和影响。在长期的钻井实践过程中，四川自贡盐场的匠师总结了一条宝贵的经验：“黄卤推砂，黑卤推气。”即把井内泥砂取净后，岩层裂缝不受泥砂的阻塞，卤气流动畅通，可获取丰富的卤气。

为取出进底的岩屑，我们的先民发明了掮“泥筒”。苏轼在《蜀盐说》中述到：“又以竹之差小者出入井中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。”由此得知，当时不仅发明推卤汲筒，而且也发明了掮“泥筒”。汲筒和泥筒有区别，但工作原理完全相同，两者都是竹制，筒底“悬熟皮”（即单向阀），入水则启，出水则闭。因岩砂和泥水在筒内下坠，熟皮受压紧贴筒底，不泄漏。通过泥筒在井底一上一下来回往复运动，水与岩屑混合，由阀门进入筒内，然后提出地面，以达到清除井底岩屑之目的。如果没有发明掮“泥筒”，卓筒井也是无法钻成的。为此，掮“泥筒”的发明，十分巧妙地解决了钻井取砂的一大关键问题，从而为向地层深部开拓提供了可靠保障，标志着我国古代钻井技术已达到了一个新阶段。

现代西方如美国标准顿钻凿井应用的“捞砂筒”（又名“抽砂筒”），其工作原理、操作方法，同我国900多年前发明的掮“泥筒”基本一致。而现代旋钻法钻进，则采用机械动力加压力，促使井内液体循环流动，不断将岩屑从井中返出地面，实现了钻井不停、除砂不断的新工艺，这是继掮“泥筒”取砂法之后又一次重大的突破。

（三）世界钻井史上最早创造的钻井保全井壁及止水的方法——下“木竹”套管固井

卓筒井在11世纪中叶问世，同时也创造了楠竹制作成套管，下入井中，构成井壁，解决了钻井、生产两大难关：其一，保护井壁。竹制套管下入井内固井，可防止因井壁（松软地层）的垮塌，发生井下卡钻事故，从而保证了大口（窍）以下裸眼井段钻井的安全；其二，止水。封隔上部地层淡水渗入井中，避免淡水冲淡了天然卤水的矿化度，确保盐井下部生产层咸卤的开采。因此，苏轼说：“‘卓筒井’深者数十丈，以巨竹去节，牝牡相衔为井，以隔横入淡水，则咸泉自上。”由此可知，竹制套管，其结构是利用大楠竹通节中空，“牝牡相衔”（即公母榫连接）

① 掮“泥筒”，以斑竹或楠竹制作，一般长3米左右，通节中空，筒底安置熟皮单向阀即成。



的竹筒。南宋爱国诗人陆游在四川荣州（今四川荣县）做官时，亲自看到的卓筒井“绝小”：“荣州，则井绝小，仅容一筒，真海眼也。”[8]盐井下入竹制套管止水，即“隔横入淡水”和保护井壁的功用，这同现代石油（天然气）钻井中下钢管固井的目的和作用是一致的。

古代井匠利用竹制套管是与四川盛产楠竹、斑竹密切相关的。四川土地肥沃，气候温和，雨量充沛，地下湿润，宜于竹子生长，因而竹林遍布，各地竹子用途非常广泛，民众就地取材，用竹子制成日常生活需要的各种器物，如竹房、竹门、竹席、竹椅、竹筐、竹架，到农业灌溉等都广泛使用竹子，简直是竹的世界。北宋四川大文学家苏东坡，目睹了竹子的广泛用途，尤其是与人们生活有着密切关系，曾深有体会地说：“可使食无肉，不可居无竹。”[9]

四川竹子材源丰富，同时又有独特的优点：伸直挺拔，具有天然圆形管状；质密坚硬，有较高的抗拉、抗压强度；耐腐蚀性能强，作套管固井寿命长达20～50年；产地广，材源丰富，价廉物美；加工制作简便等。如川北有的地区，现在遗存的卓筒井，仍是用楠竹或斑竹作套管固井，为北宋“始创筒井”提供了实物见证。

到明代后期，由于盐井钻井深度的增加，井径的加大，卤产量的提高，竹制套管不能适应井下新技术的要求，其下入深度和口径较小（一般竹套管直径10～15厘米左右)，已受到了一定的限制。这时，川北射洪地区遂改竹制套管为木制套管固井。木套管较之竹套管耐牢、坚固，效果更好，加强了套管的坚固性。关于木套管的制作和功用，马骥在《盐井图说》中有简明的记述：“下竹，竹有木竹（又名‘木柱’)、桦竹二种。木竹（柱）取坚也，刳木二片，以麻合其缝，以油灰衅其隙。桦竹出马湖山中，亦以麻裹之。木竹末为大麻头，累累节合，下尽全竹，四溃淡水障阻，不能浸淫。”

至清代，用木套管固井，在川南自贡等地区已普及了。木套管的结构和制作，更为完善。清人吴鼎立在《自流井风物名实说》中记述颇详：“木竹，以尺余大之木，剖成二块，中则挖空，合之内外皆圆，以双麻丝缚之，油灰以腻之，为费颇巨。而深浅亦不一，有八九丈，有十余丈二十余丈以至三十余丈。浅者犹可以松木为之，若深则必用柏木，取其坚硬，方免崩漏之病，做得坚固，亦能数十年不坏。木竹下好，即锉小眼”。“择坚实木质如青杠、柏树等，削成圆柱，剖成为二，内中刳空。圆径以预定井口大小为准。每段八九尺，两片相合，中有圆孔，用麻绳牢缚，内涂油灰，外附以棕或麻布，两端各有牝牡之榫接逗相连，依次下入井底，上与地平，谓之下木柱。木竹者，以其中空类竹故名也。”[10]在钻井中，所谓“下木竹”，系采用竹制套管固井。后又谓之“下木柱”，即改竹套管为木套管固井，两者均指钻井下套管而言。这种套管在井内因生产年久损坏或渗透漏白水严重，可吖起来更换（分部更换或全槽管子更换)，重新下套管，这是先民了不起的创造。

我国古代钻井中的下木竹技术（现代称“固井”)，早在北宋中期（距今950多年前）就创造成功了，它与现代钻井技术中的下套管（包括导管、表层套管、技术套管等）固井工艺原理、功用、目的等基本相同。不同的只是现代用钢管和水泥而已。为此，我国木竹固井技术的创造和发展，无疑为现代钻井固井技术开辟了道路。





在我国北宋“圜刃”钻头和“卓筒井”发明之后，俄国和美国的钻井技术相继得到发展。据两国史载，初始钻凿的盐井，仍是一种小井，同我国北宋发明的卓筒井非常近似。

据俄国盐史记载，最古的时期，采集的卤源是盐泉。第一批天然卤井在11世纪前不久出现于新城区[11]。俄国钻探事业的发生和发展，与12世纪盐田的开发密切相关。这时，已开始钻井、采卤、熬盐[12]。自14世纪60年代初，勘探和开采技术有了进一步的提高，盐井勘探用了浅井和钻孔，钻井深度达100米[13]，在旧鲁萨地区，从地下钻采大量的盐水中提取食盐。到15世纪时，钻井技术获得了较大的改进，所使用的钻探设备、工具及套管，即是在地下情况复杂和困难的条件下，也能顺利地进行钻探工作[12]。当时，专门用木料制作的一种叫“龙骨”的套管。之后，又使用了第二层套管称之“管柱”。最小的套管外径12~19厘米，内径10~12厘米。可见，这种盐井下入木套管固井的规格，与我国北宋初卓筒井发明的竹制套管尺寸大小基本相同。

美国早期的钻井技术起步比俄国要晚。1775年，一位白人妇女，在西弗吉尼亚卡诺瓦县内，由坎贝尔河流入卡诺瓦河口附近看到“大野牛舐盐池”而发现了盐泉。1806年，戴维和约瑟夫·拉夫纳在“盐池”一带挖掘大口盐井，采集地下卤水。1908年，拉夫纳用冲击式钻井的方法，开创了“卓筒”似的盐井，其井深59英尺（折约19米），又用直径6.3厘米大的“橡木”挖空作套管，隔绝地下淡水。开采了矿化度较高的卤水，熬出了雪白的食盐[7]。

据俄国和美国早期的钻井史看来，俄国的钻井技术，始于12世纪，至少比我国11世纪中叶发明的钻井技术要晚约1个世纪①。美国的钻井技术肇始于19世纪初，比我国要晚7个多世纪。由此可知，我国北宋中期开创的“卓筒井”工艺，是世界上最早发明的钻井技术，理应推崇为现代钻井技术的先驱。

## 二、明代钻井技术的发展

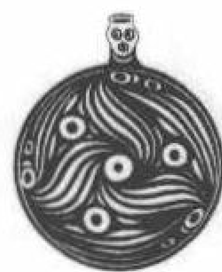
明代钻井技术的发展，集中反映在两个方面：一是钻、治井工具的改进；二是钻井的程序化。

### （一）钻井和修井工具的改进

前已述及，北宋庆历、皇祐年间，四川井研地区，卓筒井新工艺的发明，应用“圜刃”钻头破碎岩石，泥筒搧取井内岩屑，竹筒隔绝地表淡水，至此，井盐生产才有决定性的突破。这种新技术的问世，不仅为四川井盐业蓬勃发展开辟了广阔的前景，而且也为世界现代深井钻井技术开了先河。

到明代后期，为向地下不断开拓，开辟新的卤源，于是，钻井技术在宋代卓筒工艺的基础上，又有新的进展。这时，凿井钻头和修治井工具（包括地面设备），由宋代的仅几种，发展到五大类计15种。其中，出现了以“铁钎”为代表的凿井钻头；以“铁五爪”（如人的五指）为代表的井下打捞工具；以“搜子”为代表

① （德）汉斯·乌尔利希·福格尔《四川深钻技术传播到西方的真相和争议》（载彭泽益等编《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991年）认为：“15世纪的图解说明……欧洲深钻井技术出现在中世纪，……中国深钻井技术有史记载比欧洲早4个世纪。”



的淘井工具[14]。总之，钻、治、修井各种工具都有了巨大的发展。

（二）钻井工艺的程序化

随着钻井工具的发展，同时，钻井工艺也有了显著的进步，钻井程序划分为：相井地（即选定井位）、立石圈（即下石导管）、凿大窍（钻进）、搧泥（录井）、下木柱（下木制表层套管）、凿小窍（钻小眼）共计六道细密工序。同时固井应用了新技术和新材料，提高了固井质量，使井身结构趋于完善。

由于钻井技术的改进，盐井钻凿的深度大大增加，川北地区突破了300米，川南自贡地区达到近500米，井深比宋代增加了近两倍。

明代钻井技术的发展，起到了承上启下的重要作用。

**三、清代钻井技术的完善**

清代，随着社会经济的发展，井盐生产的繁荣，为适应钻探深井地质复杂岩层，开发底层（系指嘉$_{五}$、嘉$_{三}$层）黑卤及天然气资源的需要，因此，我国清代钻井技术获得了高度的发展，最终在四川自贡地区臻于完善。主要集中表现在钻、治井工具的完善，出现了钻井、打捞、固井等工具群；钻井规范化，从开钻到完钻，严密划分为九道工序，形成了一整套完备的钻井工艺技术；高超独特的修治技术，包括“取难”、“补腔”等，为有效地解除井内各种故障，为深井钻探和盐井正常生产创造了良好条件；钻井深度突破了千米大关，比明代井深超过两倍以上。1835年，四川自贡钻成了世界第一口超千米的深井——燊（兴）海井，这标志着我国古代钻井技术全面的完善。

（一）钻井技术的完善

清代钻井技术的完善，主要有以下三点：

1. 精湛的、巧夺天工的工具群

钻、治井工具是井盐生产力发展的重要标志，同时又是钻井技术中一个最重要的组成部分。为此，钻井技术的完善，首先是钻、治工具的发展和完善。清代自贡盐场的匠师们，在长期钻井和同井下事故斗争的实践中，“因其（井）病而治之”[15]，改进和创造了众多的工具，形成了一套完整的工具群，论其功能奇异、独特；论其种类繁多，使人眼花缭乱，从钻井、打捞、固井、补腔、连接、淘井等工具，获得了高度的发展和完善，达到了新的高峰，具有精湛的、巧夺天工的、举世无双的成就。

清代钻、治井工具的全面完善，主要反映在其种类繁多、规格齐全、制作精巧、结构合理、形状各异、功能奇特、神妙莫测，能适应和处理井内钻、治工程各种复杂情况的需要。根据史实记载和盐场调查，清代自贡盐场钻井、取难、测补、维修等工具共分11大类100余种[16]。

2. 钻井工艺技术的完备

随着钻、治井工具的发明，钻井工艺相伴而生。钻井工艺从宋代开始，明代改进，清代成熟。清代钻井程序，由易到难，由浅入深，分段钻进，有条不紊，直达目的层，发展成为十分完善的钻井工艺技术体系，并与现代钻井工艺基本相同。钻井过程，从开钻到完钻，划分为九道严密工序：即勘查井位和签井①；开井口和下石圈；凿大口（钻进）；下木柱（下表层套管）；凿小口和见功；腾位置（钻余

① 签井，即井位选定，用木桩插入井位处，名为签井（作标志）。




位）；掬泥（岩屑录井）；补腔（补井、止水）；取难（打捞井下落物）。

3. 高超独特的修治井技术

我国古代修治井技术，自宋至明（代），历经长足的进步和发展。到清代，又获得了全面的发展和完善，已形成了一整套修治井技术。主要有：井下“取难”技术、“补腔”技术、“纠正井斜”技术、“修治木柱”技术、维修“淘井”技术等，其工艺技术高超独特，功用奇巧，令人赞绝！

（二）燊（兴）海井是世界最早钻成第一口超千米的深井——标志着我国清代钻井技术全面的完善

我国的钻井技术，于宋代发明，明代有了重大改进，清代趋于完善。道光十五年（1835 年），四川自贡最早钻成世界第一口超千米的深井——燊（兴）海井，则是深井钻井技术全面完善的重要标志。它的钻凿成功，是人类征服自然和改造自然的一个重大胜利，也是继东汉陵井创建和北宋初卓筒井发明之后又一块世界钻井史上的丰碑。燊（兴）海井钻深突破千米，创造了当时世界钻井的最高纪录，这标志着我国钻井水平处于世界各国的领先地位。

1. 高超的钻井技术

燊海井（又名兴海井），首先在自贡地区获得重大的突破——钻深上千米，这与自贡井盐业的发展、钻井匠师高超的技术和伟大的创造力是密切相关的。

自贡盐业，历史久远。从东汉章帝时期开始，到晋（代）初具规模，唐、宋闻名全川，明迅速崛起，迄清乾隆嘉庆时期（1736—1820）成为四川产盐的中心。咸丰同治年间，达到鼎盛，盐产量占全川一半以上，从而赢得“盐都”的赞誉，驰名中外。清代，随着自贡盐业的迅速发展，为钻探地下深层丰富气、卤资源的需要，因而，深钻技术有了高度的发展。

（1）先进的钻井机械

由于自贡盐业的发展和繁荣，井匠技师的荟萃，巧匠们改进和发明了各种地面设施和各类井下巧妙的工具，运用了相当科学的机械钻井，这可以从燊（兴）海井现场保存下来的各种设施得到证实，如卓立的井架，奇巧的碓架（即一种杠杆原理），巨大的绞车（俗名大车），转动的滑轮（俗称辊子）等，布局合理，排列有序，安置在宽敞的井场上。这些机械的结构、规格、制作技艺都达到了精巧完备、成龙配套、协调自然、功能奇异的程度，令人叹服！

同时，与地面设施连接钻井的还有井下各种钻具。《论语》中云：“工欲善其事，必先利其器。”我国井盐钻井和修、治井工具，是先民们劳动智慧的结晶，用于征服自然，战胜地下各种复杂岩石锐利的武器。这些精巧的工具，清代已发展十分成熟，在一些史籍中都有翔实的记载[16]。其种类繁多，规格齐全，设计科学，制作精巧，鬼斧神工。在当时独树一帜，举世无双。燊（兴）海井就是运用这些先进的机械和钻井工具钻凿成功的。

（2）治服井漏或岩塌的“绝技”——补腔

随着钻井机械的改进和发明，钻凿工艺和修治技术也相应得到全面的发展，根据燊（兴）海井的井身结构和生产实践证明，其钻井工艺，包括布井位、开井口、凿大口、下木柱、凿小口、掬泥、补腔、取难等工序。其中补腔技术，属钻井工艺



十分重要的一道工序，也是钻凿深井的关键之一。清嘉庆、道光年间（1796—1850），在四川犍为、富顺（今自贡）等盐业生产发达地区，补腔技术已达到很高的水平，清人严如熤在《三省边防备览》中述道："犍（为）、富（顺）之井皆系凿成，……遇井内有渗漏，能补塞之，洵称绝技"[17]。"井筒或漏水，试探上、下、左、右能悬补之。"[18]凡井内"漏水"或岩层垮坍都能悬补之，因此，"补腔"是治服井漏或岩塌的"绝技"。可见，这时补腔技艺已达到了相当高的水准，补腔技艺的发明和发展，有效地治服井漏或岩坍，从而为深井顺利地钻进，不断向地层深部开拓，对深井技术的发展，起到了关键性的作用。

（3）"精通打捞技术"的井匠技师

入清以后，自贡盐业有了长足的进步和发展，至嘉庆道光时期，已成四川产盐的重要基地。同时，锻炼造就了一大批井匠技师，促进了深井技术迅速的发展。有余氏一家五代管事，祖袭相传，为擅长钻治井技术的巧匠高手。① 也有"精通锉办打捞等技术"，专门"包取滥井"技艺的强者[19]。这些巧匠改进和新发明了众多处理井下事故的工具，据研究和统计，专门用于井下捞取落物的打捞工具多达30余种[16]。因匠师技艺高超，使用工具先进，凡落入井内"无论巨细"的器具，一般都能打捞起来，可谓工匠智巧，令人"神妙"[15]。

2. 燊（兴）海井的钻采简史

燊（兴）海井是一眼低压天然气和黑卤生产井，井址位于四川自贡大安街附近。该井钻探，系采用我国井盐冲击式顿钻法，使用铁制钻头，竹篾连接悬吊钻具，木制井架（包括天辊即滑轮）作支撑，大型绞车为升降装置，运用杠杆原理，人力捣碓钻井，于清道光十五年（1835年）钻成。其井身结构可分为三大段：上段，即地面井口至64.21米一段，用木制套管固井，以防岩层垮塌及地表淡水渗入；中段，64.21至125米为裸眼井段，井口直径为11.4厘米；下段，125米至井底，井口直径为10.7厘米。全井深1 001.42米，开凿井深不仅遥居世界领先地位，而且井身质量甚优，经长期生产及现代测试手段检测证实，井身伸直，井筒圆滑，达到了现代旋钻钻井的高质量和高水平。

燊（兴）海井于道光中叶创建成功，便即投入生产。初期日产天然气8 500立方米，黑卤（盐水）14立方米，是一眼气卤共采井。就井设灶，以卤煎盐，烧盐锅80口，井灶合计占地面积近10 000平方米，生产规模较大。从初始投产至今，累计开采天然气14 000万立方米左右。该井生产方式，从古至今，一直沿用传统的方法，即裸（井）眼采气，簾盆汇集，竹笕（管）输气。簾盆开采天然气，具有降压、配风（天然气与空气混合）、气水分离等优点。尤其有了簾盆井口装置，可一边进行井下作业（钻井或修井），一边照常生产，为保证安全生产，加快进度，提高工效，起了重要作用。这是我们的先民在采气方法上的又一重大发明，创造了我国和世界采气工艺史上的伟大奇迹，从而为现代深井气、卤开采工艺奠定了基础。

---

① 余氏即余福和，自流井盐厂井管事，已故。先辈于清初从四川威远移居自流井。一家出了五代管事：余世光、余成文、余天和、余泰和、余福和，堪称井匠奇事。





3. 精心的修葺复原

燊（兴）海井创造成功，是我国古代末井盐和油气开发史上一项重大科技成果，也是世界井盐和油气史上一颗璀璨夺目的明珠，显示了我们先民的聪明才智和伟大业绩。为此，国家决定，将它修葺复原，永世保存，供游人参观和专家、学者科学考察。同时，增强民族自尊心和自信心，激发全民的爱国热情。

新中国成立后，该井一直在生产天然气和煎盐，因此，一切设施依存；全井身结构完好；地面建筑群碓房、车房、灶房等保存完整；井场钻井机械踩架、天车、地辊、大车配套齐备，在自贡盐场数以千计古老的气卤井中，则是保存最好的几个井之一。但该井建成投产至今，经过162年生产的消磨，加之长期遭受风雨雪霜的侵蚀，因此，一些生产设施不同程度地受到损坏。于是，1983年由国家文物局专门拨巨款，由有关单位参加组成燊（兴）海井修复领导小组①，本着“整旧复旧”的原则，经过深入调查和详细查阅历史资料，结合现存清代的井灶模式，制订周密的修复方案，从1984年2月开工，至1985年1月基本完成其修复工作。参加修复燊（兴）海井的工程技术人员、老工匠等水平较高，经验丰富，工作精细，因而，保证了修复工程的质量，达到了预期要求的标准。

经过修复后的燊（兴）海井，总计占地面积约1 500平方米②，从地面厂房建筑和生产设施（包括钻井、制盐），保留了原始的布局和面貌，全面再现了清末钻井、采气、煎盐的一个典型井盐生产现场：即它的正面是双合漆黑的大门，其上匾额书有“燊（兴）海井”耀眼注目的命名。进门井场的左面是竖立18.3米高的井架及碓房，碓房内陈列着碓架、钻治井和生产时用过的工具。井场的右面是高大的车房，房内陈设一架完好的大型绞车（俗称地车或大车）及附属设施，可供观众现场操作表演。井场的后面，又是一座大建筑，前房楼上是柜房，楼底是盐仓；后房则是灶房，依次排列八口圆锅，采用传统的方法煎制食盐。

4. 燊（兴）海井的重大价值

燊（兴）海井于1840年鸦片战争前夕开创成功，名列世界之冠，综合反映了当时我国在钻井、地质、开采等方面的最高水平和最大成就，显示了我国先民的聪明才智及丰功伟绩。为此，具有重大的科技价值和历史价值。

（1）世界钻井史上的一块丰碑

我国的井盐生产历史久远，早在4 000多年前就开始了。在这个漫长的岁月里，历经了从自然盐泉、大口盐井、卓筒小井到小口深井四个不同时期。而小口深井钻凿技术又是在卓筒井的基础上，再历经约8个世纪（1041—1835）的探索、改进、发展而日臻完善的。燊（兴）海井的深度超过千米，当时居世界领先地位，说明那时我国深钻技术有新的突破。当今世界上钻井技术最先进的国家以美国和苏联为代表③。与燊（兴）海井同时期（即在19世纪中叶前），美、俄两国深井钻探技术又如何？据美国Z. G. 多依奇在《探索者的足迹》中写到：1827年，美国

① 参加修复小组的单位：自贡市轻工局、市文化局、大安盐厂及自贡市盐业历史博物馆。

② 燊（兴）海井原旧井、盐灶房面积约10 000平方米，但复原后主要是井、车房，盐灶房很小，所以现有修复面积为1 500平方米左右。

③ 于1917年以前发生的事件，用“俄国”的名称，之后至1990年，改用“苏联”，以下皆同。



在卡诺瓦地区至少打成61口盐井，一般深度为300英尺（约为91米）[7]。1838年，又在该区打成120口盐井，平均井深为380英尺（约116米）。直到1845年，美国在卡诺瓦地区的一口卤（水）井创造了最高记录，也只有1 700英尺（约518米）[7]。

俄国拥有世界上最大的岩盐和卤水矿，有些盐矿已有开采数百年的历史[21]，但那时的盐井都不深。17世纪井深为70～240米，井径最小为10～12厘米，卤水浓度每升含盐量约为70～140克，卤井每昼夜生产率低，仅达6～10立方米。19世纪末至20世纪初，水溶钻采水平有所发展，使用水泵从井中开采卤，卤水浓度显著提高，含盐量高达280～305克/升。卤井生产效率也大幅度上升，每昼夜产卤100～135立方米。至1923年，井深才钻到盐层顶板750米[11]。可见，在19世纪中叶前也没有超过这个深度。由上可知，当时无论美国的盐井或是俄国的盐井，都是一些浅井，与我国当时燊（兴）海井钻探上千米相比，不可同日而语。

深井钻凿技术的发明和发展，从卓筒井到燊（兴）海井，从地下浅部向深部开拓，对我国和世界石油工业、井盐业、水文地质等的兴起和发展起了积极的推动作用。可以说，今天世界上深层（3 000～5 000米或超过5 000米油田和气田的发现和开采，尤其10 000米或超过10 000米）超深井的钻探，正是它的延续和发展，燊（兴）海井不愧为“世界石油钻井之父”。

（2）深井钻探的地质意义

清初，四川自贡盐业逐渐兴旺，当时，多为黄卤浅井，卤淡量少，不能适应盐业发展的需要。随着生产的发展，井数的增多，盐井也不断地加深。1840年鸦片战争前夕，自贡盐厂以工匠智巧、“神妙”的高超技术，利用先进的机械和钻治井工具，在燊（兴）海井首战告捷，不仅凿成一眼超千米的深井，创造了当时世界钻井的最高记录，而且也打出世界第一口深井标准地质剖面。这个地质剖面从地表至地下：即侏罗系下统（自流井群）开始→三叠系上统（香溪群）→中统（雷口坡组）→下统（嘉陵江组）第五段、第四段、第三段顶部全套地层完钻。并分别在井深约922米、928米发现了大量的天然气（产气9 500立方米/日）和丰富的黑卤（自喷卤14立方米/日）[20]，揭开了自流井构造深部的秘密。这是人类与自然作斗争、索取地下深处宝贵资源的一次重大胜利，为世界地质史、钻井史写下了新的一页。

燊（兴）海井钻达嘉$_{三}$段顶部地层，开采嘉$_{五}$段的黑卤和嘉$_{三}$段的天然气，以无可置疑的事实明确告诉人们：在地下（地层）深部有丰富的气卤自然资源，从而启发人们积极向地层深部进军，钻探石油、天然气和卤水资源。

随后（1855年），在燊（兴）海井西部附近，钻了一口最大的天然气井——磨子井。当井深钻至约1 000米，进入嘉$_{三}$段主气层时，井内的天然气突然喷出地面腾空而起，宛如火山爆发一样，火舌高出地面几十米。据推算，磨子井初期日获天然气100万立方米，是我国清代高产、高压的大型气井，被誉为“古今第一大火井”，素有“火井王”① 之称。由于海顺、皂角等又一批极旺的火井相继凿成，

① 火井王，火即天然气的别称，因磨子井天然气日产100万立方米，是我国古代最大的一眼气井，为此，称为“火井王”。



加之发源井加深、岩盐层的新发现和得天独厚的自流井，为四川产盐的中心、西南重城、祖国“盐都”的形成，奠定了雄厚的物质基础。

（3）祖国优秀科技文化的遗产

早在160多年前，燊（兴）海井钻深突破1 000米，创造了世界深井之最，并且地面各种设施保存至今，成为历史的见证，“盐都”的象征。为此，它是我国优秀科技文化遗产的重要组成部分，也是世界科技文化遗产中不可多得的“精品”。

燊（兴）海井的创建和遗存下来，为研究我国古代科技史及经济史提供了重要的实物资料，同时也为总结、研究世界钻井史、地质史、矿业史等提供了最佳凭据。因此，该井备受世人的关注。联合国教科文组织《博物馆》杂志上曾赞道：“1835年，燊（兴）海井钻凿成功，井深达1 001.42米，这是中国当时深井的最高记录，也是19世纪中叶前世界深井钻井记录。”[22]1981年，又以“燊（兴）海古盐井”为名，收录《中国名胜词典》。为了保护燊（兴）海井，国家文物局于1983年和1994年分别两次拨专款对其进行大规模修复，以再现清末井盐生产的历史面貌。1988年1月31日，经国务院批准为全国重点文物保护单位（见图1－1）。十余年来，燊（兴）海井以故有的面貌对外开放，迎接中外游客，受到了专家、学者极大的关注，在社会上引起了很大的反响。

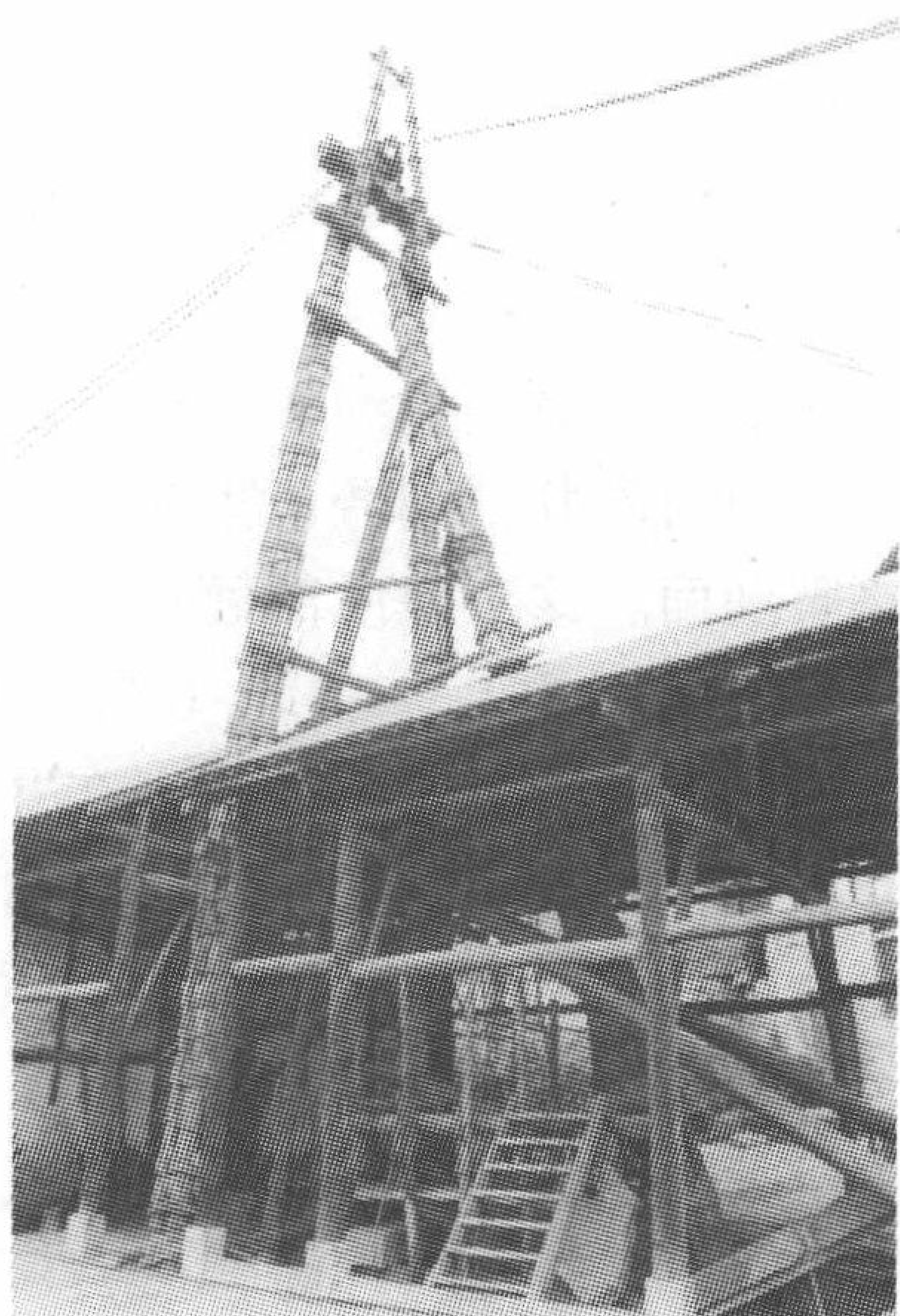





图1－1　四川自贡燊（兴）海井遗址及井碑 清代

## 四、我国古代钻井技术发明和完善的主要因素
### ——社会原因、自然条件及技术思想

我国古代钻井技术的发明和发展，是为改造自然、利用自然———开发矿业，以钻采地下盐卤和油气资源为其见长，以科技原理类同现代钻井技术为其特点。在古代，食盐是历代封建王朝严格专控的商品，而且盐税又是聚敛财富、充裕国库的重要来源。为此，我国古代钻井技术发明、演进及完善，不仅与社会政治、经济、生产发展密切相关，而且也与自然条件、技术思想紧紧相连。

### （一）　古代钻井技术发明和完善的社会原因

1. 北宋初社会对食盐的急需

食盐乃“百味之祖”，是人们生活每天不可缺少的必需品。盐，在当今现代社会里，确实显得平凡无奇，但在中国古代社会中，却是十分珍贵的，它作为礼品、奖品、贡品，甚至充当货币交换，具有特殊



商品的价值。为此，盐对人类社会的生存和推动社会的进步，有着不可低估的作用。

然而，于北宋初，由于大口盐井的衰落，井老水枯，同时四川腹地战乱频繁，给井盐生产带来了严重的影响，致使食盐产量大幅度下降，加之人口的增多，需求盐量的猛增，造成社会食盐的奇缺。因之，“天府之国”的四川发生了严重的盐荒，一向仰依井盐为食的蜀省人民，时常处于“食盐不足”[23]“民艰食盐”[24]、蜀盐昂贵长达约100年的困苦淡食之中。

北宋初（如乾德三年），每年人均用盐量约3千克，按一般常年用盐量，仅够人食八个月。在仁宗时期（如庆历元年），每年人均用盐量最少，仅有750克，不足两个月的用量，远远不能满足民众的食盐需求。为此，四川在北宋盐荒延续长达约一个世纪，其中以仁宗时期最为严重。恰恰钻井技术发明也在这个时期，不是巧合，而是盐荒与钻井技术的发明有着内在的联系。

2. 明代后期盐政的重新调整和放宽

明代四川井盐的生产和发展，主要分为两个时期，即明前期和明后期。明前期，川盐生产同全国一样，经受元末战乱的严重破坏，井灶多闭，盐场停废，生产力落后，盐业生产主要处于恢复时期，因之，钻井技术与宋、元时期相比没有新的变化。

明代中、后期，盐法日乱，朝令夕改，弊病丛生，盐税繁重，苛政猛于虎，灶户大量逃亡，乃至激起反抗，爆发了川东大宁盐场灶夫的大起义。明王朝针对盐政的“积弊”，重新进行调整和放宽，这些政策有允许民间“广开小井”，以补旧数；以引定银，减轻盐税；余盐开禁，提高灶户的地位；鼓励井户开新井等积极措施。从而调动了井户、灶户及井匠的积极性，匠师们竭尽聪明才智，对钻井技术进行重大的改进。固井技术的新突破，打捞和淘井技术的进步，能有效地排除井下的各种故障，为井盐生产开辟了广阔的前景。于是，明代后期川盐业又得到了恢复和较大的发展。

3. 清代前期盐政的改革及进一步放宽

17世纪初到17世纪末，我国封建社会危机四伏，阶级矛盾和民族矛盾日趋激化，造成持续长达数十年的大规模内战，给社会生产力带来了严重的破坏，人口锐减，土地荒芜，全国各地社会经济呈现一片残破景象。这时，四川井盐业所受破坏极为严重，井灶闭废，“仅存昔之什一”[25]，川盐生产处于全面瘫痪状态。

清朝定鼎北京后，承袭明朝的政治制度，但又有所改革。采取各种措施，力图在战乱的废墟上恢复和发展社会生产，重新稳定其封建制度和社会经济基础，以巩固其封建统治。为此，清政府为恢复和发展四川井盐生产，振兴四川盐业，在明代后期盐政的基础上，有了较大的改革，进一步放松对四川井盐业的控制，主要有以下三个方面：一是井盐生产成为民间的一种自由职业，“任民自由开凿，遂为人民私产”[26]；二是薄徭轻赋（减、免盐课），休养生息；三是组织外省大规模移民入川“垦荒凿井”。这些积极措施，为川盐生产的迅速恢复和发展起了重要作用。为此，入清以后，由于封建束缚的松弛，井盐生产力的提高，市场的拓展，生产规模的扩大，劳动细密分工，雇佣劳动力的增加，商业资本和土地资本转化为盐业资




本。于是，在清乾隆嘉庆时期，以富荣（今自贡）、犍乐为中心的川盐业进入了手工业工场的阶段。到了清咸丰、同治年间，富荣盐场投资激增，盐业空前繁荣，雇工众多，规模宏大，技术精湛，工场手工业有了充分的发展，成为19世纪中叶中国最大的手工业工场。与此同时，钻井技术获得高速的发展，出现了钻井、打捞、治井工具群，钻井工艺和修井技术臻于完备，千米深井大量涌现，三叠系嘉陵江组的黑卤和天然气得到大规模开发，这标志着清代钻井技术达到了高峰阶段。

（二）古代钻井技术发明和完善的自然条件——钻凿工程及地质条件

1. 大口盐井的弊端——挖井、修井及采卤方式落后

我国大口盐井，从秦代开始，历代相承，至唐代发展到顶峰。但至北宋初，从顶峰跌落下来，走向衰落，结束了其历史使命，逐渐被淘汰，被“卓筒井”新工艺所取代，历时逾1 300年之久。大口盐井的衰落，正是由于它的弊端所致。

首先，是挖井工程浩大。挖井采卤，是大口盐井的特点。若挖井越深，则开凿工程越大，井下施工越艰苦。大口盐井的井身结构和形制不规范，口径大小不等，深浅不一，小至一人于井下“猫身作业”；大至如陵井，规模巨大，口径“三十丈”井深“八十丈”（折240多米），望之若“盐池”。这种大型盐井，全靠成百上千的人手持锄、锹、锸等落后工具，在井下挖掘而成。其挖凿工程之浩大，支护井壁之艰险，井下作业之困难，架立（井下）井架工程之浩繁，凿井工程时间之长，所耗人力、物力、财力之巨大，真是可想而知了。北宋初，狼毒“陵井”修复时，即动用了“数百人”[27]。

其次，是修井作业自然环境险恶。由于四川地下蕴藏的盐卤及天然气资源极为丰富，卤水与天然气两种资源往往共生，而天然气中含有大量的硫化氢（$H_2S$）及一氧化碳（CO）等有毒气体，古人称之“毒烟”“毒气”“阴气”。为此，人们井下挖井或修井时，常遇到这种“毒气”，对人身造成极大的危害。如宋初，狼毒“陵井”修复时（支护井壁的垮塌，或疏通卤脉的阻塞，或抢修井架的“摧败”），人在井下作业，极其险恶——“毒气”袭人，“入者皆死”。或因天然气着火，便立即发生强烈爆炸，将井内的泥、石冲出地面飞扬，吼声如雷（明曹学佺《蜀中名胜记》卷八）。泸州县盐井水竭，令人入井视之，下有吼声如雷，火焰突出被焚死者八人。如此险恶的环境，入井作业者“皆死”。

再次，是采卤方式落后。大口盐井不仅开凿工程艰巨，修井险恶，而且采卤方式落后，“役作甚苦”。“大口井以牛革为囊，数十人索绳汲取之。自子至午，则泉脉渐竭，乃缒人至，以手取水入囊，然后引绳而上。数十人，昼夜号呼推挽，始得泉（卤），以柴煎而后成盐。”[28] 为此，大口盐井挖掘工程浩大，修井险恶，采卤方式陈旧落后，注定了它必然走向衰败。同时，随着社会的进步，生产力的发展，这种落后的盐井，又怎能不淘汰，而被卓筒井新型工艺取代呢？

2. 为钻探地下新卤资源的需要——明代后期对卓筒工艺的改进

宋代卓筒工艺，采用冲击式顿钻法凿成，其井身结构以巨竹制作套管，下入井内横隔淡水，并用汲筒采卤。这标志着大口盐井向小口深井的过渡。同时，为现代石油钻井开辟了道路。因而，在世界钻井史上都占有重要地位。

卓筒井的缺陷和改进。卓筒工艺，是一种钻探工艺的雏形，不够完善。如以



“圆刃”钻头凿井，井下故障较多，钻速也较慢；以楠竹下入井内作套管，固井不够坚牢；盐井口径受到局限，影响了向地层深部开拓；井卤生产能力不能得到充分的开采和利用等。这些问题，到了明代中、后期，由于井老水竭日趋严重，限制了盐业生产的发展，已成为当时的大问题。为开辟地下较深地层的卤源，因而，盐井的加深，井径的扩大，井身结构的改进，对钻井技术提出了更高的要求，即宋代卓筒工艺，已不适应当时钻井技术的需要，必须加以改进和逐步完善。明代后期，钻井工艺有了新的进展：施工程序严格划分为六道工序；固井时，将竹制套管改成木制套管，提高了固井质量，使井身结构趋于完备；凿治井工具有了重大的改进，出现了先进的铁钎钻头及铁五爪打捞工具。故此，钻井工艺的新进展，固井新技术的应用，钻治井工具重大的改进，标志着明代钻井技术有了新的进展。

3. 清代深井地质的钻探——钻井技术的完善与深井地质的特点

清代钻井技术完善的原因，除了社会原因以外（前已述及），还与川南自流井构造深井地质钻探密切相关。

自流井构造开采历史悠久，至迟是从北周武帝时就开始了。到明（代）后期开始了大规模的钻采，清初有了迅速的发展，咸丰同治年间，进入鼎盛时期。

这个构造的特点是，地下卤气资源极为丰富，主要产层埋藏深，加之地层变化较大，断裂纵横交错，岩石裂缝发育，地质构造复杂，因之，钻探工程艰巨。清道光时期，温瑞柏在著《盐井记》（载《皇朝经世文编》卷五十）中述道：“煮海易，煮井难；煮滇井易，煮蜀井难；难凿井。”为适应自流井构造深井地质的钻探和深层卤、气资源（嘉$_{五}$层黑卤及嘉$_{三}$层天然气）的开发，于是，自贡的井匠技师对钻井技术（在继承明代成就的基础上）不断加以改进和创新，最终使其臻于完善。故此，清代钻井技术高度的发展和完善，主要与自流井构造特定的地质因素密切相关。

地下深层卤、气资源的索取，是通过钻探技术来实现的。但地下资源埋藏的深与浅，岩石的硬与软，地质构造的复杂与简单，同钻井技术紧紧相连。自流井构造深井钻探的地质特点：一是岩层（比川北）复杂；二是构造断裂多；三是卤、气资源埋藏深。

（1）岩层复杂

据史载，清代川西、川北地区开凿的盐井仍然不深，基本上停滞在明代水平上：“一井之成，深约六七十丈（约200～220米），易则四五月，艰则年乎不等。”[29]仅少数地区井深达“百数十丈”。因此，这些地区地层单一，地质构造简单，盐水埋藏浅，卤咸淡。射蓬地区岩层简单，主要分三层：其一，浮土层，即风化层；其二，红石岩口，即红色泥岩层；其三，白砂岩，即白色砂岩层[14]。

位于川南地区的自流井构造岩层复杂多变，刚柔相间，硬软交替，变化多端。在钻井过程中，钻遇硬岩，如砂岩（俗称瓦灰岩、清砂岩等）、白云岩、石灰岩（俗称黄姜岩、矿子绵岩等），工程艰巨，开凿艰辛，钻井速度很慢，吴鼎立在《自流井风物名实说》中云：“铁板岩，至铁板腔之后，较铁尤坚。”又云：钻“遇绵岩者，开凿最艰，绵岩一丈（即一井丈，约等于3.6米）可凿一年”。当时“绵岩”“铁板岩”唯自贡地层中所见。这是岩层问题的一方面；但是，另一方面，若





钻到松软地层时（如泥岩即俗名红岩，页岩即俗称麻篦岩，绿豆岩即黏土岩），则容易发生垮塌，特别是断裂破碎带，裂缝发育，经淡水冲刷，垮塌更为严重，因而，也给钻井造成极大的困难。岩层垮塌后，形成硐穴（俗称岩腔）。为了安全钻进，预防井下事故发生，于是，必须采用油灰（桐油与石灰拌混）补腔。

清代深井裸眼钻进（小眼井段，不下技术套管），采用补腔的方法，以保钻进安全，这是钻井工艺技术中一项重大发明。

（2）构造裂隙多　岩石裂缝大

著名的川南自流井构造，为一个不对称的梳状背斜，在125平方千米内，发现了10条逆断层，其中两条断层出露地表，八条断层隐伏地下。因此，构造断裂多，岩石裂缝大。

先民在自流井构造钻采地下卤、气资源的1 400多年实践中，总结出一条最重要的经验——“立缝见气，横缝见水”。今天运用现代地质科学方法研究，已证实这是一个裂缝性构造。从气、水的角度看，又是一个十分丰富的“裂隙性气水田”。因构造裂隙发育，裂缝沿着构造长轴方位大多是相互连通的。于是，有利于气、水（黄、黑卤水）的贮藏、运移、富集：“气水生产主要（集中）在断层带和褶皱带剧烈部分。”[30]如构造西部黄葛坡断裂带，东南异地下断裂带及构造顶部裂缝发育带。

但是，岩石裂缝大，钻井中容易发生故障。松软性岩层容易发生垮塌，坚硬性岩层裂缝发育，这是古代或现代钻井中常遇到的问题。裂缝发育又是地下气、卤资源富集的场所，因之，硬岩、裂缝、资源三者往往是紧密结合在一起的（自流井构造就是一个典范）。而断裂多，裂缝发育，硬岩与裂缝交织在一起时，钻井中容易出现井病，轻者延误工期，重得恶性故障直至井废。裂缝性岩层钻进常见有两种故障：

其一，岩石裂缝产生井斜。钻井过程中，钻遇断裂破碎带或岩层大裂缝，或硬软岩层交替时，最容易发生井斜（俗名井弯）。一旦出现井斜，便要及时处理，进行纠斜（正）。一般在钻遇大裂缝岩层时，采用有效措施，防止井斜。如改换钻头，即将银锭锉改成双马蹄锉；改进操作，即钻速宜慢不宜快；钻杆上带扶正器（俗名梭边、窝弓）。

其二，岩石裂缝卡钻。岩石裂缝千变万化，钻遇岩石裂缝时，最容易发生卡钻故障。若钻头前、后部沿着（顺着）岩石裂缝卡住，称之“裂缝卡钻”；若钻头左、右两侧垂直于裂缝（即“骑马裂缝”）卡住，俗称“栽底仄（则）子”[31]。无论哪种卡钻，多是在一瞬间发生的。一旦发生岩层裂缝卡钻，当即采取应变措施：往上提动（俗曰：碰上蛋门）；必要时，向下冲击（又曰：碰下蛋门）。实例：自流井盐厂双海井，于1905年开办，至1913年见功，日产天然气约25 000立方米。1913年由于山洪暴发，洪水与卤水并灌入井内，火被淹灭，经淘井后，火损失约80%，仅烧锅35口，折日产天然气3 500立方米。为了挖掘天然气潜力，其后加深，日获天然气约20 000立方米。在井深1 153～1 194.11米时，钻遇裂缝，用双马蹄锉及冬瓜圈锉，根据钻头印迹（现号），测得裂缝宽70～130毫米，最宽达149毫米，几乎与锉直径等同。在加深中，曾经多次发生卡钻，其中一次裂缝卡



钻时间长达三天三夜，当时，运用了各种措施终于解卡，才幸免井下落难①。可见，双马蹄锉的发明，是与治服岩层裂缝联系在一起的，自清代沿用至今。冬瓜圈锉头的出现应在它之后。

（3）主要卤、气资源产层埋藏深

自流井构造地下卤、气十分丰富，在地质剖面上产层多，交替出现，相间成层，多为卤、气共生。主要产层有：三叠系上统（香溪群）中香$_{二}$、香$_{四}$、香$_{六}$段地层产黄卤及浅层天然气；三叠系中统雷$_{三}$段、雷$_{一}$段，及三叠系下统嘉$_{五}$段，地层产黑卤及天然气；三叠系下统嘉$_{三}$段地层主要产天然气。这些资源，埋深浅者数百米，深者上千米。

黄卤：产于三叠系（上统）第二、四、六段的长石石英砂岩中（以前二者产卤为主）。总厚度约 300 米，埋深 400 ~ 700 米左右。黄卤与浅层气共生。黄卤开采历史悠久，即公元 6 世纪，大公井凿成投产，便揭开了黄卤开采的序幕。[32]

黑卤：主要赋存在三叠系（下统）嘉陵江组第五段及三叠系（中统）雷口坡组第一、三段地层的针孔状灰岩及白云岩中，其中产层总厚约 90 米。自然黑卤仍与天然气共生，埋深 800 ~ 1 350 米。

黑卤钻采较黄卤晚，始于清代中、后期。嘉庆二十年（1815 年），桂咸井凿至 797.8 米，据此推算，进入雷口坡组黑卤层。道光中叶（1835 年），燊（兴）海井钻到 1 001.42 米，开采嘉$_{五}$段的黑卤，每日喷水 100 担。1836 年，东部凉高山泗通井，成功地开发了东南翼地下断层的黑卤，1874 年，西部贡井地区钻采了黄葛坡断裂带的黑卤[32]之后，黑卤开采日渐兴盛。

岩盐：在自流井构造上，先后发现和钻采了三个盐体。1825 年至 1891 年间，有多口黑卤井钻入大坟堡盐体，以自然黄、黑卤水溶解岩盐，已获初步开采。1892 年后，便进行大规模开采；1955 年，在老井加深中，又发现了郭家坳盐体；1967 年，在地质勘探中，再发现大山铺盐体。岩盐产于三叠系（下统）嘉陵江组第四段地层中，分 $A_1$ 和 $A_2$ 两层。含盐段 0.5 ~ 20 米，纯盐层厚一般是 1 ~ 5 米。埋深 900 ~ 1 350 米左右。郭家坳、大坟堡、大山铺为三个小型透镜体。其中，以大坟堡盐体最大，岩盐面积 1.2 平方千米，总计储量 975.84 万吨。[32]

天然气：整个含卤层均产气，其中以嘉$_{三}$段为主要产气层，埋深 1 000 年至 1 300 米左右。自贡地区天然气开采历史，与黄卤开发史同样久远。但清代以前，开采的天然气，属三叠系上统浅气层，产气少，压力低。至清代中后期，由于钻井技术的成熟，嘉$_{三}$主气层获得迅速的钻采。1825 年，大安地区永兴井钻深约 1 000 米，首次揭露嘉$_{三}$气层，气流显示良好。1850 年至 1855 年，在自流井构造顶部钻入嘉$_{三}$气层，获日产 100 万立方米的高产高压气流。自此，便对嘉$_{三}$气层进行大规模的钻采，天然气大量地用于制盐，促进了自贡盐业的迅猛发展。

总之，清代钻井技术的发展和完善，始终同深井地质钻探紧密连在一起。自贡盐区地层变化大，岩石软硬相间，地质构造复杂，断裂多，裂缝大，主要资源产层埋藏深，为适应地下诸多情况的需要，于是，先民们改进和发明了各种类型的工

---

① 自流井盐厂：《双海井井矿卡片》。

具。如在深井钻探中，既要加速进度，同时又要保证钻井质量，常常以两种或三种钻头相互配合使用，以利战胜和治服岩石大裂缝，防止井斜和卡钻事故，为此，盐场巧匠们发明了双马蹄锉。这种钻头的发明，标志着清代深井钻头高度的发展和完善。

在深井钻探中，时常钻遇松软地层（如页岩、绿豆岩等）发生垮塌，形成硐穴（俗称岩腔）。为了安全钻进，防止垮岩造成井下故障，必须进行“补腔”。因而，发明了补腔工具和补腔技术。这种高超的技术，于清代中后期达到了炉火纯青的程度（见第六章第五节：二、高超的“补腔”技术）。

自流井构造地下卤、气资源贮藏十分丰富，但是产层埋藏深（如嘉$_{三}$气层），一般是上千米至超千米。地下深部资源的钻采，难免不发生井下事故——落锉、掉筒等。为了处理和解除井内事故，于是，井匠技师们创制成功了巧夺天工的打捞工具、辅助打捞工具并由此形成高明的打捞技术。这些精巧工具的研制成功和卓绝的打捞技术，为确保新井钻进向地层纵深开拓和盐井正常生产，创造了条件。

清代自贡盐区钻探新井，由于盐井（包括气井）的加深，井径的扩大，地下浅层淡水涌量增多，为此，盐井普遍应用木柱套管下入井内，进行止水和防止岩塌，从而全面发展和完善了固井技术（俗称叼下木柱）。故此，清代钻井工艺技术——钻治工具、修治井技术或钻探工艺都获得了全面的发展和完善，并达到了一个新的高峰。但是，它的全面发展和完善，不是孤立地存在的，而是与自贡地区特定的地质因素、深井钻探分不开的。

（三）古代井匠发明的技术思想

我国古代钻井技术的发明及发展，有它的社会原因、自然条件。同时，还有它的技术原因，即井匠发明钻井技术的技术思想。

前已述及，于北宋前期，由于社会的原因和自然条件的制约，因而发生了盐荒，其中以仁宗时期最严重，民众长期处于淡食困苦之中。人们为了生活和生存，被迫寻求出路——钻井、采卤、制盐，以满足社会的急需。因此，在人类历史上，首次发明了顿钻凿井技术。但是，如何发明这种技术？井匠技师在设计、研制过程中，借鉴了其他行业的科技原理或模仿动物的构造及动作，即综合应用了社会生产中多种科学技术原理，从而为钻井技术的发明及发展提供了技术上的保证。如宋代卓筒井木竹（套管）固井工艺，是借鉴了古代民间用竹筒引水灌田的技术及大口盐井护壁的方法；泥筒（今名捞砂筒）的发明，是借鉴了古代冶铁鼓风装置的原理；钻井碓架的创制，是借鉴了古代脚碓加工谷物的杠杆原理；明代奇巧的打捞工具——“铁五抓”，是仿人手五根指头制作而成的。清代，井下测考工具——“木孩儿”，又是模仿人的手、脚运动研制成功的井下机器人。双马蹄锉，则是模仿畜马的脚掌（蹄子）锻造的钻头等等。这些，都反映了发明者的技术思想——钻井技术发明的技术原因。关于这个问题，以下的实例将进一步研讨。

1. 钻井碓架（动力设备）的创制——井匠设计和制作借鉴了古时“脚碓”的原理

凿井碓架，是杠杆原理典型的应用。凿井时，它是地面很重要的一种设备，是借鉴了脚碓和水碓原理研制成功的。



杠杆原理的应用，我国起源很早，应用普遍，如秤就是利用了杠杆原理。它以秤杆两臂长短不等，只用一个重量不变的权（砝码）来衡量各种轻重不等的物体。春秋战国时人墨子在《墨经》中①，根据“权”俗称“秤砣”，“重”（物重）、“支点”、“杆”（力臂）、“本”（重臂）之间的关系，研究和发现了杠杆的平衡原理。孟子在《梁惠王》里也述道：“权然后知轻重。”即是用“权”（砝码）衡量物体的轻重。秦始皇统一度量衡，其中就包括有秤。历代发现和出土的秦“权”，都刻有诏书的金文，说明在秦以前已有秤。

石磨也是一种杠杆原理。早在龙山文化时期（距今 4 800 ~ 4 000 年），先民加工谷物已经用了“杵”和“臼”。据“世本”卷一“作篇”记载：“公输般作磑磨。”[33] 由此可知，石磨是土木工匠祖师鲁班（约公元前507—前444）发明的。石磨的发明，把“杵臼”的上下直线运动、间歇工作，变成旋转运动、连续不断的工作，从而大大减轻了劳动强度，提高了工效。

桔槔发明于西周[34] 并用于提水灌溉。桔槔的结构及工作原理：在井旁安置木架，架上固定一横木。杠杆的一端（俯臂上）捆扎一块坠石，另一端（仰臂上）以绳子悬一个汲桶。由于杠杆和坠石的作用得以提取井水。桔槔不仅改变了力的方向，而且省力。因此，《庄子·天运》说：“夫桔槔……引之则俯，舍之则仰。”辘轳考古发掘尚未见到，但出现不晚于西周，取水时只能改变力的方向，并不省力。

汉代，杠杆原理用于粮食加工，谷物去皮的工具是碓臼。桓谭在《新论》② 曰：“宓牺之制杵舂，万民以济。及后人加巧，因延力借身重以践碓，而利十倍杵舂。”[35] 桓谭是西汉末人，足见，在西汉脚碓已发明和应用。宋代，在云雾山区，水碓利用自然流水的动能加工粮食，省时、省工、省力，因之，苏轼称赞道：“云碓水自舂，松门风为关。”[36]

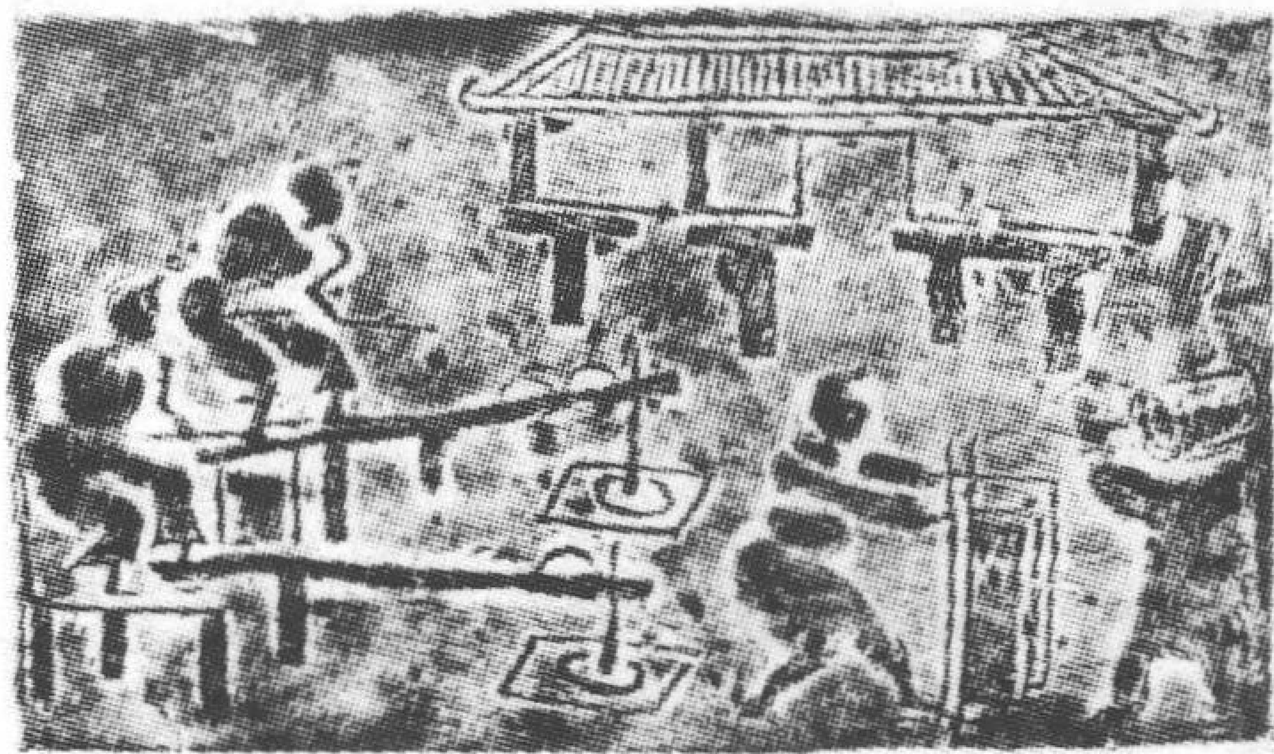


图1－2　东汉舂米画像砖（四川彭山县出土）
采自：刘志远《四川汉代画像砖艺术》

（明）宋应星《天工开物·粹精》曰：“横木穿插碓头，（碓嘴冶铁为之，用醋滓合上）足踏其末而舂之。不及则粗，太过则粉，精粮从此出焉。”又说：“水碓之法巧绝，凡水碓，山国之人居河滨者之所为也。攻稻之法，省人力十倍，人乐为之。”四川彭山县考古发现，东汉画像砖“舂米”（图1－2）[37]，清楚地反映了脚碓杠杆原理的应用：即：“舂米”者脚踏碓（杠杆）的一端，扬起另一端下的杵头，“借身重以践碓”舂米，既省力又大大提高了工效。

① 关于《墨经》是墨子撰著，还是他人所作，学术界有不同意见。晋人鲁胜曾《墨经注》则认为《经上》《经下》《经上说》及《经下说》四篇为墨子所著。现代历史学家范文澜在《中国通史简编》中是支持这种意见的。但今天有学者认为，上述四篇不是墨子自作，而是他人所作，成书时间是在战国后期。

② 宋衷注，张澍稡集补注：《世本》卷一“作篇”（第 24 页）载：“宓羲制杵臼之利，后世加巧，借身践碓，而利十倍。”其论略有不同。

宋代，井匠从民间应用脚碓加工谷物“舂米”中得到了启迪，即借鉴了脚碓杠杆原理，并结合凿井需要，在此基础上加以改进，创制了凿井碓架。这种碓架凿井，（明）宋应星著《天工开物·井盐》中曰：四川开凿盐井，用的钻头是“铁锥，……（凿井深）初入丈许，或以足踏碓稍（梢），如舂米形”。据四川实地考察得知，关于宋代卓筒碓架的结构和基本形制，在今川北大英乡卓筒井遗址保存了下来，主要由碓架、碓板（即杠杆）、扶手等构成（见图1－3）。

钻井时，碓板的前头（即碓头）悬吊钻具，工匠站在碓架上，用脚踏碓板的后头。当脚踏下时，碓头扬起，提起井下的钻具及钻头；脚放开时，钻头猛力冲击井底粉碎岩石并立即使碓板恢复原位，完成一次钻井。如此反复捣碓凿井，并用泥筒取出井底的岩屑，使井不断加深，达到钻井的目的层。



图1－3　宋代卓筒井凿井碓架
川北大英乡卓筒井遗址

宋代凿井碓架的改进——从小碓架发展到大碓架。宋代凿井碓架，其特点是：架框矮小，结构简易。至清代，由于盐井加深，动力增大，因此，凿井碓架在宋、元、明各代的基础上，得到了改进和完善，主要表现在架体高大，结构复杂，从小型碓架发展到大型碓架。

清代碓架的构成有三：① 其一，大型架框。前面树一对巨木，高约4～6米，下端直径为40厘米，俗称“将军柱”。于将军柱之后，再立较小的两木，高约2.2米，下部直径30厘米左右，俗称“后腿”或“后山”。前后四柱用销脚环、腰环、乘桥及横木榫接，以尾索绕线“扒架”并捎紧，组成一个大型架框；其二，辅助部件。有扶手、摸板、啄啄母腿、矮乘子、牌坊架子等；其三，杠杆设置。在碓架上安置杠杆，俗名碓板子，分小碓板和大碓板两种，以黄檀木制成。凿井用小碓板，长约5米，直径12～15厘米，碓板两端微昂，中间稍凹，前阔后削。

在碓板（杠杆）上固定一个支点，俗名碓腰子，从悬吊钻具处至支点称碓头，

① 清代大型碓架，在自贡盐场保存完好的有三处：一是燊（兴）海井碓架，由现场陈列，供游人参观、表演；二是东源井碓架，也是现场陈列，并供修井利用；三是富明井碓架，由盐业博物馆征藏。三个井的碓架结构、形制大致相同。



又从碓尾到支点称碓梢。碓梢即动力臂（其长）数倍于碓头即阻力臂，于是凿井时，大大省力。这一机械装置，盐场称“碓架”，从宋代（小型碓架）到清代（大型碓架），一直是中国钻凿盐井的主要设备。关于碓架的发明和改进，我们得出以下三点：

第一，碓架由脚碓发展而来。古代杠杆的应用和发展，先由桔槔发展到碓舂（包括足碓、水碓），然后再由足碓发展到凿井碓架。粮食加工的“足碓”，与凿井捣碓，都是“借身重以践碓”，即“捣碓”亦是“足碓”，二者杠杆原理完全相同。因此，凿井碓架由人工足碓发展而来，是杠杆原理应用新的发展。

第二，碓架的研制成功——杠杆原理应用新的突破。它既省力，又改变了力的方向，这恰恰适用于凿井。因此，它在我国北宋中期，由大口盐井向小口深井变革中，对于卓筒井的问世，钻井技术的发明，以至清代对千米深井的钻探，起了极其重要的作用。

第三，碓架置于井口，它把动力和钻井工具从地面至井下串连在一起，工匠在地面操作机械，便可完成井下钻井作业。为此，碓架起到了动力的传达作用、机械的协调配合作用及凿井的核心作用。

2.“取水筒”的发明——井匠设计和制作借鉴了古代水鞴即水排（冶铁鼓风装置）的原理。①

我们勤劳智慧的祖先，将古代的水鞴即排水的原理，创造性地运用于“盐井取水筒”，解决了小口深井汲卤的难关，从而把盐井开采水平，提高到了一个新的阶段。这种“取水筒”的应用，一直延续到现在，历时近千年。

据苏轼《东坡志林》“筒井用水鞴法”条记载：“《后汉书》有水鞴，此法唯蜀中铁冶用之，大略似盐井取水筒。”[5]仅寥寥数语，清楚地说明了“水鞴法”原为四川冶铸鼓风用之，而且此法似盐井取水筒（又名提捞筒、推水筒、汲卤筒等名），即是说“水鞴法”与“取水筒”二者的工作原理类同。由此可知，“取水筒”的发明，借鉴了“冶铁”用的“水鞴法”，即应用了“水鞴”的原理。所谓“鞴”，有多义、多解。在此用《正字通》解：“鞴，吹火囊。”关于“水鞴”的含义，据《后汉书·杜诗传》李贤注：“排当作囊，古字通用也。”另《集韵》：“鞴，或当作囊。”故知：水鞴即水排。[38]

关于“取水筒”的工作原理，苏轼在“蜀盐说”中述道：“竹之差小者（即取水筒比井径略小），出入水中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。”取水筒的发明和工作原理，最关键是竹筒的底部“悬熟皮数寸”，即装置了一个活塞。当竹筒入井中取卤时，利用筒身的自重和卤水表面的浮力，即将活塞向上自动顶开，卤水沿着活塞开口入筒；待汲筒盛满卤水起推提升时，又利用筒内卤水的重量下压，便立即将活塞压回封闭开口处，即活

---

① 东汉初年，南阳太守杜诗改进了冶铁鼓风技术，制造了威力强大的鼓风装置——水排。铸造农器，效果“三倍于前”。（晋）陈寿：《三国志》卷二四“韩暨传”：“旧时冶作马排，每一熟石用马百匹；更作人排，又费功力；暨乃因长流为水排，计其利益，三倍于前。”但是杜诗创制的水排缺乏记载，其后，王祯（农书）中，对水排结构做了详细记述，并复原了卧轮式水排图。另外，他还介绍了立轮水排，两种水排都被复原了出来，现陈列在中国历史博物馆。

塞与开口自动闭合，使卤水不致渗漏。所以苏轼说，取水筒出入水中，活塞自动启闭，采汲卤水，十分巧妙。

取水筒不仅用于采汲井中卤水，而且它的形制和科技原理又与“泥筒”相同，二者仅在长短大小上略异。为此，“取水筒”的发明，实际上亦包括“泥筒”在内。泥筒用于盐井开凿时，以清除井内的岩屑，为卓筒井的开创起了关键性的作用。

总的来讲，取水筒的发明和功用，其重大价值主要表现在：

其一，“盐井取水筒”是借鉴了古老的水鞴即冶铁鼓风装置原理而发明的。而发明最关键的是“水筒”下端底部“悬熟皮”作“活塞”，出入水中，自动启闭，精巧灵活，用作提取井中卤水。

其二，取水筒用于小口深井采卤，与大口井用大皮囊盛卤相比，具有工效高、成本低、劳动强度低等优点，为此，取水筒的创制，是一项重大革新。

其三，取水筒的制作和工作原理，与“泥筒”相同，因而“取水筒”的发明，亦是“泥筒”的发明，即是说，前者的发明，应包括后者，二者是一双“孪生”姐妹。

3. 井下探测器“木孩儿”及“泥孩儿”——井匠设计和制作模仿人孩儿手脚运动发明的井下机器人

机器人是一种能模仿人某种动作的自动机器。当今世界发达国家投入巨资研制新兴的机器人，比如，日本拥有全世界工业机器人的1/3左右。同时有的发展中国家也在加紧赶制机器人。在全世界第四次工业革命浪潮到来之时，对于机器人的研制，已形成世界热。不过，这都是现代机器人。早在明末清初，我国井盐业的巧匠，模仿人的手、脚运动，发明了一种井下机器人，用于盐井的探测。

据（清）四川总督丁宝桢编著《四川盐法志》（三卷）的明确记载：于1772年前，我国四川井盐行业中的能工巧匠，在长期生产实践的过程中，锐意探索，不断改进，创制了一种井下机器人——“木孩儿”。所谓“木孩儿者，凿木略如孩儿状”。由此可知，木孩儿是用木质为材料，以人孩儿为模样，利用了连杆、转轴等机械原理，精心制作而成的。因制成后，其形“略如孩儿状”，有“手”有“足”，能伸缩自如灵活运动，所以命名为“木孩儿”。这种命名不但非常生动、形象，而且也很科学。当时，先民取名为“木孩儿”，也就是今天的“机器人”，它是我国最早用于工业矿山井下探测的机器人。

“木孩儿”具有模仿人的手、脚活动的奇特功能。因此，那时在穿凿盐井和修治病井生产实践中，曾被广泛地应用。《四川盐法志》（卷三）清楚写道：“木孩儿……用其柄悬井中，度尺寸详试。孩儿手足略可运动，遇渗漏处有湿痕，遇腔口处，手足忽入……揣白水所而补之。”这段话，把木孩儿描述得活灵活现了。木孩儿不但可探测井下地层淡水的渗漏，考准腔口（岩层的垮坍部分），而且，“孩儿的手足略可运动”，测量井深，是拟人化了，这是何等的精巧制作。

古代盐井的钻探，条件特殊（不同于海盐和池盐的生产），工匠在地面上作业，全靠钻探工具不断向地下深部开拓，一旦遇到井下岩层复杂的变化，人在地上看不到，也摸不着，为此，特将“木孩儿”悬吊井内探明。当木孩儿下到预计的井深，如在井下



钻遇岩层裂缝和岩腔处，木孩儿手、足能自由伸缩入出腔内，动作灵活，成剪叉形，这时，通过地面篾绳缓缓地由上往上移动，孩儿也随篾绳徐徐从上至下地探索，直至两足与井内的下腔口接触，不再向下移动，并屹立于腔口的两侧，工匠运用纯熟的技能和丰富的经验，可确定井腔下盘，这叫探测下腔位置（见图1－4）。与考下腔相对应，再把木孩儿略略由下向上提升，至（孩儿）两手同井内上腔相接触，这又叫考测上腔盘。依据篾绳一下、一上移动的距离，可计算腔口的高度，测准腔口的高度和位置。同时，木孩儿又能测定岩层渗漏的白水。由于地层中渗漏的白水，使松软岩层容易发生垮塌、堵塞盐井或出现井下故障，于是直接影响钻井工程的进行。所以，井匠技师根据孩儿探明的结果，取得确切的资料，然后才用灰料进行补腔和堵漏，以便于施工和生产的顺利进行。

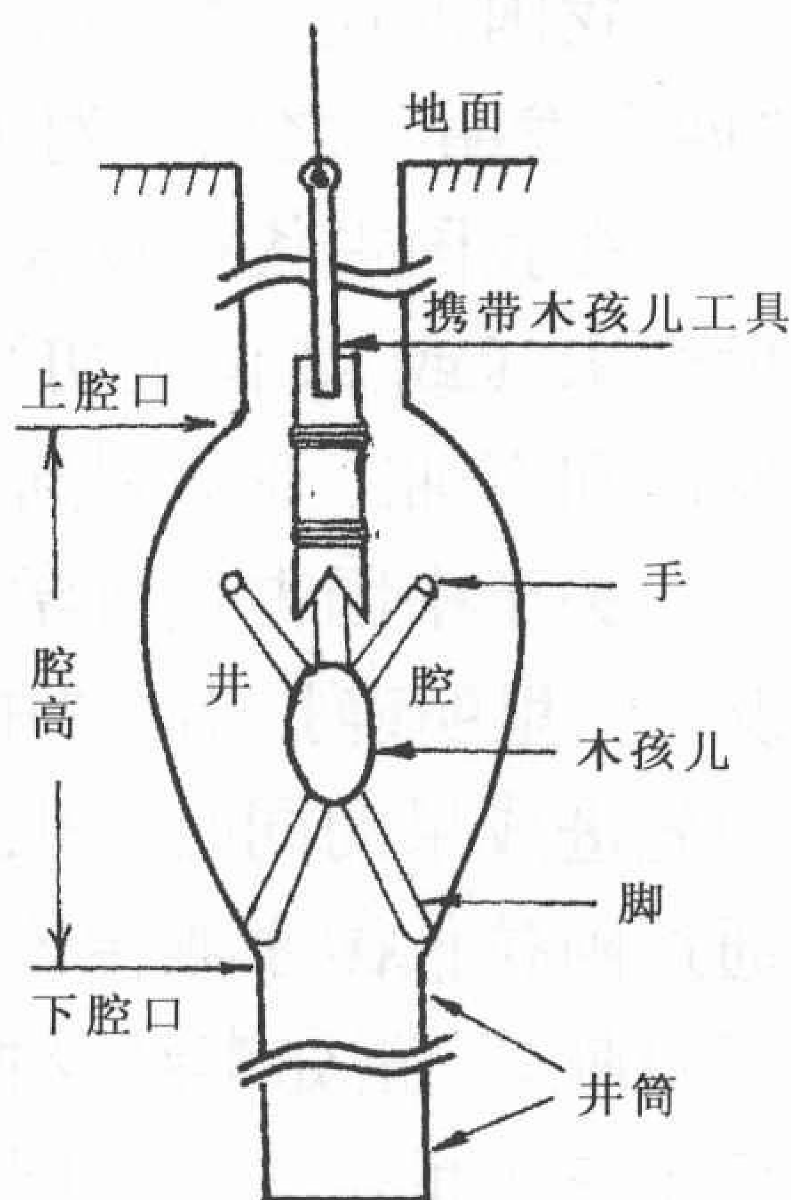



图1－4　井下木孩儿（机器人）考腔示意图（作者据《四川盐法志》卷三记载和盐井考腔原理绘图）

木孩儿从1772年前研制成功，一直沿用至1882年被淘汰时止，为促进我国钻凿盐井、石油和天然气深井技术的进步，井盐生产的发展，起了重大的作用，因此，木孩儿具有重要的科技史价值。

木孩儿的发展——由木孩儿到泥孩儿（又名泥娃儿、泥娃娃）。木孩儿制作工艺水平要求高，入井探测时，工匠操作甚精细，如遇深井岩石大裂缝，探测不甚准确，或孩儿手脚容易被腔口或裂缝卡住，发生故障。为此，井匠针对木孩儿制作工艺不足之处，从设计开始，到精巧制作，加以改进和发展，研制出了一种新的井内探测器——泥孩儿。丁宝桢在《四川盐法志》卷三《器具图说》中，明白无误地写道：泥孩儿“其名盖木孩儿，百年前相传用木孩儿，今改用泥孩儿，曰泥娃娃。”这说明在19世纪末，旧木孩儿已被淘汰，新泥孩儿开始诞生，即新泥孩儿已取代了旧木孩儿。

泥孩儿主要有两大优点[39]：

一是取材容易，制作工艺简便。其制作和构造，从内部到外部分四层次：第一层，制作正心，即用竹或木或铁杆制成泥孩儿的骨架；第二层，扎绳索，以决定泥孩儿的大小和形态；第三层，糊黄泥，泥孩儿入井探测后，据黄泥的印迹，可判断井下情况；第四层，包裸麻布，为保护泥孩儿下井中不损坏或脱落。以上四层，即泥孩儿制作告成。

二是泥孩儿具有多种功能，用途广泛。其一，测考井内地层淡水（俗称白水）渗漏，根据测考结果，然后用油灰补腔（今名补井）；其二，大口位置上打印，旧式凿井各个工序中，有一道重要的工序，即是在下木柱（套管）以前，在大口位置即套管鞋处打印，以便分析确定位置是否平整，如不平整，则要重新团（清理）位置，直到符合要求，才能下木柱套管；其三，木柱（竹）套管损坏的探测（包括套管的变形、破裂、脱榫接头错位等），以便进行修复或更换；其四，井内落物的探测（包括断篾、落筒、掉锉等），根据探测情况，便于井内捞取；其五，岩腔（即岩石的垮塌后形成的岩穴）的探测，确定岩腔的井深、高度，为补腔提供依据。

## 第二节　中国钻井技术的西传

我国古代发明的钻井技术，是我们的先民继造纸、印刷术、指南针和火药“四大发明”之后，对人类文明又一杰出的贡献。

在我国古代科技成果中，钻井技术则是一项重大发明。这项重大发明，自11世纪末（或12世纪初）至19世纪以前，先后传入西方，为推动西方钻井技术的发展和石油工业的兴起，开创了先驱。

关于中国古代科学技术的西传，著名科学家钱三强等在《科学技术发展的简况》① 里明确指出：“中国古代的科学和技术在不断吸取世界其他地区、其他国家的先进成果的同时，也通过陆路和海路，把自己的成果向东传入朝鲜和日本，向西通过阿拉伯国家辗转传入欧洲，对欧洲的文艺复兴以及其后科学技术的发展，作出了贡献。”正如李约瑟博士在《中国与西方在科学史上的交往》中所说：“在公元后十三个世纪中，中国的科学技术发明像奔流的潮水一样涌进欧洲，就像随后欧洲的技术潮流涌向其他地方一样，现在，正在得到承认。”[40]美国著名学者W·W波迪撰文述道：“欧洲在中世纪很难想象到，中国已经是几千年历史的一个伟大的未被发现的文明中心，并且在很多方面，比欧洲先进得多。……中国比欧洲远为先进的许多方面之一是制盐工艺。……马可·波罗②没有讲——他也不可能知道，中国钻凿卤井的技术和工具已经发展了一千年，或者更早些。”[41]美国学者德克·卜德曾在《中国物品西传考》引《中国文化》第二辑中也说：“从公元前200年到公元后1800年，这两千年间，中国给予西方的东西超过了她从西方所得到的东西。”这些发明的西传，对西方“近代科学有重大影响，而这种影响在18世纪仍然存在着。正是那个时候，我们的历史已进入了近代阶段”。[42]美国杰出的作家罗伯特·K·G·坦普尔在《中国：发明与发现的国度——中国科学技术史精华》一书中述道：“迄今为止尚未披露的最大历史秘密之一是中国和西方成分的极好结合。‘近代世界’赖以建立的种种基本发明和发现，可能有一半以上源于中国。”并在同书中又说：“今日的技术世界是东西方文明相结合的产物，其结合的紧密程度至今还令人难以想象。现在是东西方都要承认和尊重中国贡献的时候了！”[43]

### 一、中国钻井技术西传欧美

中国钻井技术的发明和西传，为西方“石油钻探和开采做了先驱”。

#### （一）中国钻井技术西传美洲，成功地钻凿了“美国西南部那些州第一批石油井”

中国古代发明的钻井技术，是李约瑟皇皇巨著《中国科学技术史》中一个十

---

① 本文是科学家钱三强等给中央领导同志讲课的文稿。其内容有古代科学技术（16世纪以前）、近代科学技术（16世纪~19世纪）、现代科学技术（20世纪）及对科学技术发展的特点和规律提出的初步看法，综述了科学技术发展的简况。自贡市科学技术协会翻印，增刊第一期，1980年8月9日。

② 马可·波罗（1254—1324），意大利商人，在威尼斯绰号称“百万马可”。元初（1275—1292年）来中国，居留长达17年之久，曾在元代受职做官。归国后，撰有《马可·波罗游记》。这是欧洲人较早了解中国的史著。此著中，他简略地提到云南人以取卤制盐为生：“其地有盐井而取盐其中，其地之人皆此盐为活。”他也到过四川，写有成都府南河及楼阁诗吟：“传是秦时楼，巍巍至今在。楼南两江水，千古长不败。”



分重要的内容，他在此书中列举了机械和技术从中国向西方传播的项目，其中包括“深钻技术”。并认为“它是中国的杰出发明之一”。（在列举了以上成就后，并说26个字母全都用完了，还有许多例子甚至更重要的例子可以列出来。）同时在书里有关章节部分，又对中国钻井技术的发明和西传，做了精辟的阐述。

中国古代钻井技术的发明，“那真是一项巨大的成就”[44]。这种技术的发明和西传，推动了西方钻井技术的发展和石油工业的崛起。李约瑟博士十分热忱地称赞说：“打深井或钻探技术，像今天用以钻探油田的技术，是中国人所特有的。”“无疑为现代中国和世界各地石油钻探和开采做了先驱。”[40]中国发明的深钻技术，最终在四川自流井获得了高度的发展和完善。“当前，世界上许多国家，打天然气，都是用我们祖先创造的方法。在美国地质大学钻井专业的教科书上，第一课就是自流井。《世界大百科全书》钻井技术条目里，第一条也是自流井。自贡是世界钻井之祖，是当之无愧的。”[45]

1942年至1946年，李约瑟担任英国驻华使馆科学参赞和筹建“中英科学合作馆”期间，收集撰写了关于中国科技史的大量资料。同时，这也是他了解和研究中国科学文化的最好时机，于是，他到我国许多地方做了实地考察：“我几乎走遍了整个中国，并曾到达遥远的东南。”[46]这时，李约瑟博士千里迢迢赴“盐都”自流井及嘉州等盐区考察，并在《中国科学技术——编写计划的缘起、进展与现状》里，对自流井的钻井技术和盐井生产做了精辟的、生动的、详尽的描述：“我在抗战期间，曾有幸访问四川省自流井。我当时看到在周围毫无工业可言的古老文明的海洋中，居然出现一片工业区，又看到许多了不起的操作景象，真是非常激动。我特别注意到中国人民使用了竹具，把楠竹劈开连成很长的钻杆，绕在巨大的滑轮上，向下深钻入土。竹篾具有纵向无弹性的杰出性能，使操纵钻井的工匠能够精确掌握钻头的位置到两千英尺以下的几英寸范围之内，以便一钻钻地把井底越凿越深。如果使用了麻绳之类，那只能摊得满地皆是，根本无法操纵。这真是了不起的发明。”“有一群人在一个横梁上跳上跳下，以便产生一种上下运动。而同时，钻井缆索由另一群人（转碓为一个人——笔者注）来转动。当钻孔完成时（这是一个需要数年时间才能完成的过程），一根带有一个阀门的长竹竿被送到下面去，它起着一种吊桶的作用，可把盐水取上来。天然气（从另外的那些钻出的孔收集）用于熬盐。”[42]李约瑟当时到自流井看到的钻井技术，是清代钻井方法的沿袭，即一种古老的传统钻井工艺技术。他根据中西钻井技术的考证并确认①：“毫无疑问，有关这些方法的知识是从中国传出去的，成功地钻成了美国西南部那些州第一批石油井。”[42]美洲新大陆发现后，各国移民接踵而至。这时，中国劳工远渡重洋，把四川钻井的方法，带到大洋彼岸。为此，李约瑟在《中国对科学和技术的贡献》一文中明确指出：美国“加利福尼亚州寻找石油的第一批勘探者所采用的也是这种方法。在现代装备出现以前，加利福尼亚州采用了这种方法，我们很快可以发

---

① 李约瑟博士，1942年至1946年期间，担任英国驻华使馆科学参赞。此时，亲赴四川自流井、嘉州（今乐山）等做实地考察。1946年3月离开中国，又到法国巴黎接任新职。在这里工作两年，他做了环球旅行和考察，到了美国、澳大利亚、苏联及欧洲等其他一些地方。全球的广闻目睹，这对于他站在世界科技史的高度，潜心研究中国科技史是大有裨益的。据此，他对中国钻井技术西传做出了符合史实的考证。





现，引进这一方法的正是来美国修筑铁路的部分中国劳工，他们原来知道在四川采用的这种方法。”同时又肯定地说：“美国西南那些州第一批石油井中没有一口井不是用中国古代的方法钻成的，这种方法在那里被称作‘换挡’（Kickherd-own）。”[42]美国杰出作家兼科技史专家罗伯特·K·G·坦普尔，在编写的《中国：发明与发现的国度——中国科学技术史精华》一书里都承认：1859 年，美国最早在宾夕法尼亚州钻成的第一口石油井，应用了中国钻井技术——“竹缆方法”[43]。

中国井盐钻井技术传到美洲，早在民初就有记载，这与李约瑟博士的考证是基本一致的。据李吟秋先生著《凿井工程》记述：“搅凿法（churn drill）一名木杆法（spring pole drill）。在美洲应用最早，其法与我国四川凿盐井、火井之法大致相同。唯搅凿法，仅宜于浅井及救急之需，如凿深井，则嫌其费时太长，用力过巨也，迄今此法已不见于新大陆矣。现时其通用凿掘深井之法，有二：一曰标准法（standard method）；一曰水力旋钻法（hydraulic rotary method）。标准法，乃由木杆法改良而成者也。初用人力，继用马力，至 1860 年，乃用汽机发动焉。”[47]

加拿大钻井木杆法也与此上法类同：“四川之火井、盐井……工事既贵，进行亦慢，然士人赖之，恒凿井至三千六百英尺（约 1 098 米）以上，其成绩亦可惊也。加拿大木杆凿井机（Canadian pole tool apparatus），与此法设备大致相同。”[47]

由上可证：

第一，中国钻井技术的发明传入了美洲大陆，美国和加拿大都应用了类同四川钻凿盐井和天然气井的方法——取名“木杆法”或称之“换挡”，也就是中国四川自流井常称的“冲击法”。此法应包括竹篾（绳索）冲击式钻井法及竹杆法两种。前一种方法，过去在许多论著中已有详述，可是，后一种方法被忽略了，它在宋应星《天工开物·井盐》篇中有图像和记载（详见下文二《中西钻井技术的对比》）。欧美早期钻井应用的“木杆法”，即类同我国明代的“竹杆法”。当然，无论“竹杆法”“木杆法”或是“竹篾（绳索）冲击式钻井法”，三者钻井原理完全相同，只不过是以竹篾牵引悬吊钻头和竹杆连接钻头稍异而已。因之，“木杆法”并非西方的专利，其实我们的先民早就创造并应用了这种方法。

第二，这种方法由中国筑路工人传入美国，并在石油钻探井取得了成功。美国西部那些州第一批石油中没有一口井不是用中国古代的钻井方法钻成的，由此而得到证实。

（二）中国钻井技术西传欧洲，导致了“第一批自流井”的诞生

中国深钻技术，于 11 世纪中叶发明，大约在 11 世纪末或 12 世纪初传入西方，并首先传入欧洲，成功地钻出了第一批自流井。李约瑟博士在《中国与西方在科学史上的交往》中述道：“在古代四川，从有些钻孔涌出的天然气已被用来煮熬从别的钻孔抽出或流出的卤水。没有迹象表明 1 000 年中这项技术传到其他文化中。后来阿拉伯作家才有一两处记载，紧接着欧洲 12 世纪又成功地打出了第一批自流井。钻这些井的方法与古代中国人的方法相同，这一点没有得到确立。但既然现代以前不知有任何别的方法，那就几乎可以肯定是中国的方法，然而，12 世纪初期，蒙古人入主中原以前，对于任何思想从中国传往欧洲，是一个极不利的时期。这必然是由阿拉伯海员从海路传去的。可能是通过摩尔人统治的西班牙传开的。”[40]同



时李约瑟又在《科学与中国对世界的影响》一文中明确指出："毫无疑问，有关这些方法的知识从中国传出去，导致了1126年在利勒斯（Lillers）附近钻探第一口自流井。"[42]李约瑟认为，当东半球一项重大科技发明后，便即向东、西扩散，在东半球另外的地方出现，或是在西半球出现。但是，"在人类交往过程中，存在着许多我们看不见的交往渠道，特别是在人类历史的早期阶段。"[42]中国钻井技术早期传入欧洲，由于历史久远，确实"存在着许多我们看不见的交往渠道"，但李约瑟提出从11世纪末或12世纪初从海路西传欧洲，完全符合当时的历史背景，这是可信的。据此认定：

第一，欧洲12世纪初钻成的第一批自流井①是应用中国的钻井方法。11世纪末到12世纪初，西方世界（包括欧洲）没有发明深钻技术，唯有中国在11世纪中叶发明了卓筒井新工艺。为此，12世纪初欧洲钻成的第一批自流井，其方法与北宋初发明的卓筒工艺相同，属于小口（径）深井之类。并且阿拉伯作家有记载。由此认定，欧洲12世纪初钻成的第一批自流井，是应用中国传出去的钻井方法。

第二，钻井技术西传欧洲的路线——中国钻井技术有可能由南方丝绸之路和海上丝绸之路传到阿拉伯地区，再辗转传入欧洲。自古以来，阿拉伯地区就是东西贸易交流的纽带，也是沟通东西科技文化的桥梁。穆斯林的《圣训》里有一句话："学习虽远在中国，亦当求之。"阿拉伯《古兰经》也记载："为了追求知识，虽远在中国，也应该去。"反映了阿拉伯人民对中国科技文化的向往。在汉唐时期，中国对外经济文化主要通过西北陆上丝绸之路及南方陆上丝绸之路。到两宋时期，由于中国曾出现宋、辽两个对峙政权，战争频繁，西北陆路交通时塞时通，所以，宋朝尤其西南省区对外经济和文化交流主要依靠南方丝绸之路和海上丝绸之路。

南方丝绸之路，古时称"蜀身毒道"。"蜀"者即四川；"身毒"，则是古代印度的称谓。据印度《摩奴法典》记载，早在公元前4世纪，四川瑰丽的丝绸，已销往印度及东南亚国家，再转入西亚、北非及欧洲。所谓"蜀国丝绸远征万里"正指"南方丝绸之路"[48]。南方丝绸之路出外有两条路线，二者都是从四川成都出发的，一条叫灵关道（又称旄牛道）；另一条叫朱提道（又称南夷道、五尺道）。为此四川成都是南方丝之路的起点，商贾贸易和文化交流穿梭其间。宋代，四川发明并普及的钻井技术，有可能由南方丝路再经海上丝路传入阿拉伯地区，又转入欧洲。

海上丝路四通八达。蔚蓝色的海洋，围绕我们的国疆，从东北到西南，有连绵

---

① 自流井——以自流井水而得名。自流井水英文为artesian water，即我们通常的"自流泉"，乃地下水在地表的露头。按其水文地质含义，自流井是埋藏地下透水性极弱或相对而言不透水的岩层之间，处于压力围闭之下的地下水，称为层间水。因为它承受一定的静水压力，所以又称之为承压水，钻打穿这种承压含水层的水井，名曰承压井，如果水自升到地表以上，则这种井可以称为"自流井"。（张家环编《普通地质学》，石油工业出版社，1986年）。自流井水是一种比较理想的天然资源，由于这种水分布广，储量丰富，受气候因素影响较小，而且经过岩层的天然过滤，水质清洁，水温稳定，开采方便，成本较低，所以自流井水用途甚广。如供城乡民众饮用、农业灌溉、工业锅炉用水等。

在世界一些干旱、半干旱地区或地表缺水地区，地下却埋藏有丰富的水。因此，只有赖以钻凿地下水，开采自流井。自流井经长期开采后，由于地层压力下降，水不能自升到地表以上时，则采用人工机械的方法抽汲，以持续开采地下水，直至井水枯竭。





的海岸线。我国有几大条大江大河，从内陆通向海洋。浩瀚的海洋，宽广辽阔，海洋上的道路四通八达，它像一条条纽带，联系着东方和西方，传播友谊，交流文化，贸易往来。海上丝绸之路，可与陆上丝绸之路，相互辉映，为人类进步作出了重要的贡献。从某种意义上讲，海路对外通商、旅游及文化交流比陆路更为方便，古人云："适千里者，如在户庭；之万里者，如出邻家。"[49]宋代，由于社会的进步，科学技术的发展，造船业的发达，为沟通东西方的交流提供了条件。两宋时期，造船业和对外通商的发达，可从下例得以佐证：

例一，南宋爱国诗人陆游，八十岁时曾作《感昔》诗咏："行年三十忆南游，稳驾沧溟万斛舟。常记早秋雷雨霁，柁师指点说流求①。"（《剑南诗稿》卷五九）诗人"行年三十"，即指他30余岁时曾在福州宁德县任主簿，主管财务和簿籍文书。这时，他乘坐了一艘装满仓容万担米粮的货船，虽遇到海水波涛汹涌"常忆航巨海，银山掷涛头"，但自身却感到乘坐航船的安全。同时，从诗中反映了南宋时期熟练的航海技术和海上贸易的发达。

例二，据《宋史·虞允文传》记载：南宋绍兴三十一年（1161年），宋、金在白浪滔天的长江瓜州大战，"亮至瓜州，允文与存中临江按试，命战士踏车船中流上下，三周金山，回转如飞，敌持满以待，相顾骇愕"②。杨万里在《海鳝赋》中云：宋、金这次水战，南宋出动"海鳝万艘"，"其速如风，其飞如龙"，所向披靡，大败金兵。两宋时期的海船，大的车船长三十六丈，宽四丈一尺（折长约98米，宽11米），一舟可载数百人乃至千人以上。由此足见，宋时造船业之先进和发达。当时，中国和阿拉伯国家的友好关系有了进一步的发展，海外贸易繁盛，更是远远超过前代。而阿拉伯首都巴格达是国际贸易的中心，所以，中国的科学技术是通过与阿拉伯的交往向世界传播的。人所共知，中国古代的四大发明、丝织技术、医学等，就是由阿拉伯人先后传到欧洲和非洲等地的，对促进西方文化的发展起了很大作用。

总之，两宋时，政府大力鼓励海外贸易，加上当时造船业的发达，指南针的使用（指南针用于航海，最早记载见于北宋《萍州可谈》，1191年，可能使用时比记载早），海上交通十分方便，据有关史载中国与外通商就有50多个国家和地区[50]。因此，钻井技术有可能由畅通的陆路和海路传到阿拉伯地区，再辗转传入欧洲。

第三，中国人有可能将钻井术带到阿拉伯地区。深钻技术在11世纪中叶发明后，至11世纪末，已在全川普及推广了。尽管当时受到官家的限制、封闭，但经过私家（卓筒井户）的斗争，终于还是保存和发展了。到元祐四年（1089年），经吕陶上奏实况后，朝廷才下令"成都府路见管盐井一百六十余，立为定额，不问大井及卓筒，并不禁止。"（宋·李焘《续资治通鉴长编》卷九七）从而恢复了卓筒井的合法地位，于是获得了大的发展，到了12世纪初（南宋绍兴年间），卓筒井的发展达到了鼎盛，四川共有井4 900余眼。由于卓筒井的推广和发展，"卓筒井"技术也随之而普及，熟练和掌握这项专门技能的井匠理应越来越多，"合为

---

① 流求，即我国宝岛台湾。

② 文句中"亮"即金主完颜亮率兵至瓜州。允文与存中，系指南宋军首领南存中与虞允文。



几千、万人矣。”[51]如果阿拉伯海员不可能访问四川，那么，四川的井匠技师或熟知这方面专长技术的人同外交往中，也可以由海上交通带到阿拉伯或其他地区。如唐玄宗天宝十年（751 年），大唐军队在怛逻斯（即《大唐西域记》中之呾逻私）城发生战事，结果唐军大败，大批唐军官兵被俘，在被俘的人中有一些专门技术人员，其中包括了中国造纸工匠。自此，中国造纸技术传入阿拉伯后由阿拉伯传到欧洲[52]。宋时，四川钻井匠师多至成千上万人，中国人在对外各种交往中，有可能将钻井技术传入阿拉伯或其他地区。传播技术的人不用多，仅 1 ~ 2 人就行了。星星之火，可成燎原之势。

总的来讲，中国钻井技术，从 11 世纪末（或 12 世纪初）至 19 世纪以前，先后传入西方欧美。中世纪初，欧洲人应用中国钻井技术开发地下水，便成功地开凿了“第一批自流井”。到古代后期和近代初期，欧美采用中国钻井技术“打盐井”及“钻油井”。美国著名作家兼科技史专家罗伯特·K·G·坦普尔在《中国：发明与发现的国度——中国科学技术史精华》一书中明确述道：“西方的深井钻探实质上是中国引进。”同书又确认，1859 年，美国在宾夕法尼亚州钻成的第一口石油井，是用“中国的竹缆（钻井）方法”。在此，把书中有关的一段话，引证如下：

“到公元 1834 年，欧洲人才能够正确地把中国钻井技术用于打盐井，到公元 1841 年开始用钻油井。公元 1859 年，E·H·德里克（E. H. Drake）上校在宾夕法尼亚州的石油湾用中国的竹缆方法钻出了一口油井。这口井的油就同中国更早一些时候的情况一样被用做燃料。德里克以及美国其他石油钻探者可能不是从法国得到钻探技术知识，而是从公元 19 世纪在美国修筑铁路的中国契约劳工那里得到的。不过，当时被称为‘踢下去’的美国钻油方法在蒸气钻机出现之前与源于人从杠杆上跳上跳下的绞索法完全一样。甚至现代的旋转钻头似乎还仍然遗留了部分中国古代技术的痕迹。总之，西方的深井钻探实质上是从中国引进的，而现代石油工业是建立在比西方先进 1 900 年的东方技术基础上的。”[43]为此，“今天用于开采石油与天然气的深井就是从中国人的这些技术中发展起来的。”[43]

（三）中国钻井技术西传　促进了西方钻井技术的进展

前已述及，中国钻井技术，在 11 世纪中叶发明，于 11 世纪末或 12 世纪初传入欧洲，导致了第一批自流井的产生。美洲新大陆发现后，中国钻井技术又传入美洲，如在美国西南地区成功地钻凿了首批石油井。中国钻井技术西传，如果说早期是通过阿拉伯地区辗转西传欧洲的话，那么，后期（即 17 ~ 19 世纪）西方一些国家则是通过来华外交使节、传教人士及专家学者科学考察等各种方式，直接将中国先进的钻井技术传到欧洲或其他地区，从而推动了西方钻井技术的进展。

1. 17 ~ 19 世纪中国绳式（竹篾）钻井技术的西传

中国古代钻井技术，自 11 世纪中叶发明后，不断发展，世代相继，到 17 ~ 19 世纪获得了高度的发展和全面的完善，达到了高峰阶段。这一时期（约 17 ~ 19 世纪中叶），西方的钻井技术处于起步阶段。由于钻井方法的原始，影响和阻碍了向地下深部资源的开拓，西方为改变钻井技术落后的局面，于是，欧洲工程师和钻井专家有了“革新的态度和对外国技术的渴望”[53]，专门来华对钻井技术进行考察，或通过来华其他有关人士，收集和了解中国钻井技术的资料，并及时传回（他们）

国内进行研究、试验及应用，对西方钻井技术的进步，起了积极的作用。

17～19 世纪，中国（绳式）冲击钻井技术传入西方，诸见于西方史实记载。据罗伯特·P·墨尔索夫著《世界古代钻凿技术及其作用》述道："盐业钻井在德国获得了惊人的成功，因他们是欧洲人中最了解中国盐业钻井的人。中国的盐井如此之深，如此之古老，以至于它们的存在长期令人猜测不定。"[54]同时在该文又说："中国盐业钻井历史悠久，盐井出现在四川省，早在 17 世纪到中国的欧洲旅行者记录了这些情况"[54]。约 1652 年，由阿姆斯特丹出版的《伟大的旅行》里载道："使用配有铁臂的绳索，中国人在很深的地下钻孔，并把岩屑带出地面。"[53]这说明，17 世纪中叶，中国"使用配有铁臂的绳索"即绳式冲击钻井工具传入了西方。

荷兰驻中国大使纽霍夫参观四川井盐生产的报道。1655 年至 1657 年，出任中国的荷兰使节纽霍夫（Niedhoff）应中国官方邀请，参观访问了四川井盐生产，并撰文（本文 1665 年出版）报道："使人感到特别惊奇的是他们在四川发现有盐井，产盐可供所有居民食用。一般情况下，这些盐井深达百步①（折约 160 米），在可耕山区挖掘，土地较柔软。盐井的井口或井孔几乎不到四拃宽（折井径 80 厘米），人们用一种很重的铁臂挖掘，该铁臂以一种罕见和圣人赞叹的方式自行闭合，当铁臂到达地层并触及土地时，铁臂会接收水，水经过烘烤，挥发出蒸汽，剩下白色的盐，该盐比海盐柔和些。"[53]纽大使报道的主要内容有：第一，中国四川是井盐的产地，食盐产量很丰富（供所有居民食用）；第二，盐井的规格，井径 80 厘米，井深约 160 米；第三，制盐方法，采用热蒸发制盐，盐质纯白，比海盐质量高；第四，钻井技术，纽大使在报道中，把铁臂（即凿井钻头）和泥筒（底部安置的皮钱即单向阀，搧泥时自行张闭）二者混为一谈了。纽大使职业为行政外交使节，不懂钻井技术和井盐生产，加之，参观时间仓促，导致报道中个别有误是可能的[53]。

法国传教士英伯特关于四川井盐钻采的三封信。传教士劳伦特·约瑟夫·马里纳斯·英伯特（Lawrent-Joseph-Marius-Imbert），生于 1796 年，1818 年进入神学院学习，成为一名天主教徒。1820 年作为天主教传教士被派往四川，从事牧师职业，后被封为主教，直至 1837 年，居留四川长达 17 年之久（之后，又到朝鲜继续传教，1839 年故）。为此，他对四川井盐钻采技术比较了解，成为法国了解中国四川钻井技术的重要通道。

英伯特在四川传教期间，用书信的方式，向法国有关部门传送了四川自流井和五通桥盐井（包括天然气井）的钻探、生产和使用情况。这与荷兰大使"纽霍夫的报道相比，1828 年出版的这两封信叙述得更详细，更可信，而且对西方的影响巨大"[53]。

但是，传教士英伯特的两封信介绍中国绳式冲击钻井方法（"以绳索悬挂钻具"，钻探井身垂直）和盐井"巨大的深度"[53]，在法国及欧洲引起了有些人的怀疑。于是，1829 年英伯特又写了第三封信（此信 1830 年出版），信中描述了用于

① 《新华字典》："旧制长度单位，一步等于五尺。"清代一尺折合 32 厘米，即 0.32 米，故 0.32 × 500 = 160 米。即当时纽大使参观四川盐井深度约 160 米（译文中井深有误），当然不能代表最深的盐井。



提升竹筒采卤器的巨轮车，其轮周为40英尺（折约1.2米），需要42～50匝长的绳索缠在上面，这表明该井的工作深达2 000英尺（折约600米）。至于自流井天然气产量最高的井，他说，甚至需要70匝长的绳索，也是2 800英尺长（折约840米）[53]。

德国著名地理地质学家李希霍芬对自流井的钻井技术及盐业生产的记述。李希霍芬（1833—1905），曾任柏林大学校长，国际地理学会会长。他多次来中国旅行、考察。最早一次是在1860年，他随西方一个普鲁士考察团来到我国。当时，正遇太平天国革命运动，因而没有深入腹地，只是在沿海一些地区（如上海、广州等）考察了一下就回国去了。

于1868年至1872年间，李希霍芬受英国商人重托，先后七次来中国考察。北到辽宁，南至广东，遍及我国14个省区。考察涉及内容很广，凡地层、构造、矿产、化石、山河、土壤、地形、森林、城乡及当地民众生活习俗等都被详尽地记载下来，以随时向驻在上海的英商汇报。回国后，还向德国有关部门详细地写了书面汇报。撰有《中国》五大卷，并附有中国地质及地理图数幅。皇皇巨作，为19世纪下半叶西方众多专家来华中收获最丰、影响最大的著述。尤其对四川自流井钻井技术和盐业生产的记述，引起了西方钻井工程专家和商贾极大的兴趣。

李希霍芬越过秦岭进入四川，行经广元、剑州、绵州、成都府、雅安府、保宁府、潼川府、嘉定府、叙州府、重庆府等地。1872年5月，他兴致勃勃回到上海，在写给英美驻沪总商会的报告中述道：四川产的盐都是从盐井里汲取的自然卤水熬制成的。盐井广泛分布在红色盆地内，而又以红色盆地中心区域为主，保宁府、潼川府、嘉定府则是四川省最大的产盐区。报告中着重并明确指出“其中最重要的产区为自流井”。李希霍芬在报告里专门对自流井所处的地理位置、钻井技术、气卤开采等做了比较真实、准确、详尽的描述，其主要内容，由美国学者弗吉尔·哈特《自流井考察记》中收录[55]，现摘要引证如下：

第一，自流井盐区的地理位置：“自流井坐落在嘉定府以东约七十英里处，几乎与到叙州府及泸州距离相等，据说这里及周围一带是四川人中最稠密、最繁荣的地区。同中国所有大制造中心一样，此地的人也是以粗犷著称的。……盐井分布在一个直径27华里的地区。”这就是闻名中外的自流井盐区。

第二，李希霍芬对绳式冲击钻井法明确地记述：“中国人打井只用一根中部由一根斜竿支撑着的有弹性的长竹竿和一根用一些长篾条连接起来的篾缆，以及一个重120斤（约60千克）的铁器。篾缆紧系在竹竿的尖端。在篾缆的末端系着这个铁器（钻具）。竹竿粗的一端轻微地上下移动，便使得铁器跳动，并以其宽大的利刃在地上凿一个垂直的洞（钻成的‘盐井’——作者注）”。

被凿穿的岩层主要是由砂岩和黏土层构造成的。因此，这种简单的机械装置就足以迅速进行钻掘。当岩石部分被捣碎后，便把清水灌入钻孔，放下一根底部有一阀门的竹筒管（泥筒——作者注），同时把混浊的水抽上来。

为了保护钻孔的四壁，还要下入许多根柏木管（表层套管——作者注），以防止附近地下的水流到井里，木筒管彼此连接处都要钉上钉子，缠上麻和敷上桐油保护，这些木筒内径约5英寸（折12.7厘米）。并随着大口的加深，木筒下入亦更

深。木筒下完后，继续钻进小眼，井深的增加，篾缆的末端再接一节篾缆，因此，也越接越长。“井打到 70 ~ 100 丈”（即 230 ~ 330 米），便打出盐卤水，这个盐井便合用了，（属浅层黄卤井）。

第三，天然气的钻采和利用：“除这些井之外，还有另外一些井凿到 3 000 至 5 000英尺（折 914 ~ 1 524 米），离地面那样大的距离，石油是有可能被钻到的。如遇上有油，很强烈的天然气就会立刻喷出，凿井工作就须停止，一个用木料做的井帽子被固定在井口上（采气装置‘簾盆’——作者注），在井帽上钻几个孔，每个圆孔插入一根竹管，通过这些竹管，天然气被输送到煎盐锅下面，管子若需分支，就在每根管子的终端连接一个有小孔的圆锥形接头，这样天然气就可以用来煎盐了。”

第四，盐卤的采汲：盐水是用长竹管（俗称提捞筒，又名汲卤筒——作者注）和篾缆由马或牛拉绞盘提到地面，然后用竹管（俗称输卤笕）输送到灶房煎锅制盐。

美国学者弗吉尔·哈特来自流井考察。于清光绪十四年（1888 年），美国有名学者哈特，不远万里，从大洋彼岸到四川自流井盐场进行考察，回国后，著有《自流井考察记》一文，详细、准确地记述了当时盐场的钻井方法、卤气开采、输卤技术、制盐工艺、食盐运销等，展示了清末自流井盐场一片繁荣的景象。其中，仅以钻井方法为例：

关于盐井钻井工程，他在《考察记》中简明述道：“一根约十四英尺长，底部具有锋利刀刃的熟铁是凿井之工具的第一节。需要四至八个人蹬踩捣碓，当凿井逐渐加深时，要安全地接上另外的钻杆，凿井钻具被夹在具有弹性的楠竹把手上。使其同熟铁杆件末端相互打击，这个很重的物体被系在碓板一端，随着井的加深而增加其重量。”[55]

自贡盐场人民将简单而又科学的钻探工具用于盐井（包括油气井）钻深，令哈特感到很惊奇！他十分赞赏地说：“这些盐井，直径六英寸（约 15.24 厘米），靠着相当粗陋的器械逐渐穿过岩石达到如此深度，到现在我头脑中仍无有力的论据，赞赏这个民族在这方面超过了他们建造长城和运河的潜力。一些具有聪明才智的年长人告诉我，这些盐井深度从几十尺到 400 丈，故最深的盐井有 5 900 英尺（折 1 798.32 米）”。① 同时他在《考察记》中还说：自流井盐场，拥有能够穿凿如此坚硬的钻探工具，良好的机械性能，“钻深……几百英尺深的井似乎并不算什么，如果我们考虑到中国人原始的采矿方法，如他们开采煤、铁、铜和其他矿物时多么容易被灾难所吓倒。然而，他们在这些盐井方面确实是充分显示了他们的聪明才智、坚韧和勇气。”[55]

由上可证，17 ~ 19 世纪，西方人士来华，主要是通过外交使节、传教士及专家科学考察等各种渠道，先后直接把中国绳式冲击钻井技术传入西方。如 17 世纪中叶《伟大的旅行》中记述的“配有铁臂（即钻头）的绳索”钻井、19 世纪初人

---

① 据作者查史料和盐场调查，古代盐井（包括油、气井）最深可达 1 400 米左右。哈特在《自流井考察记》中说“最深盐井有 5 900 英尺”（折计 1 798.32 米），可能计算有误。



称的“绳索悬挂钻井器具的方法”，以及 19 世纪下半叶李希霍芬描述的“篾缆的末端系着这个铁器（即钻头）”、“人蹬踩捣碓”等，虽各种取名有异，但都是指的中国绳式顿钻法。为此，这种方法，传入西方，史实俱在，无可置疑。

2. 关于西方绳式钻井技术的试验和优点[53]

17 到 19 世纪初，西方还在普遍应用落后的“木杆法”钻井。当中国先进的绳式冲击钻井法传入西方时，正是雪中送炭，引起了很大的反响。特别是当时欧洲工程师和钻井专家有革新态度和对外国钻井技术的渴望，反响更大。于是，首先在欧洲掀起了研讨、试验、应用中国钻井技术的热潮。

1828 年，钻井工程专家乔巴德（Jobard），是欧洲最早仿用中国绳式冲击式钻井法的人。他在距布鲁尔不远的马林堡附近地区进行试验，初试钻深 25 米，并发现中国钻井的方法比欧洲木杆法更好。同时，他建议在绳索和钻头之间连接一个 100～200 千克长筒形的铁器，钻井中可起到扶正作用，使井身垂直。

1830 年，英国仍用乔巴德的钻井方法，钻井深度为 50 米。

1832 年至 1836 年间，采矿专家利奥波德·塞缕（Leopld Sello），运用绳索钻井方法在萨尔布吕肯（Saarbrac-Ken）进行了多次试钻，获得初步成功。如：1832 年 7 月 2 日，他用了一个 18 千克重的钻头，连接在 80 千克重的钻杆上。整套钻具悬吊在一条直径 3.2 厘米的麻绳上。50 天钻成一口井，该井直径为 12 厘米，深度为 51.25 米。又如：1834 年 5 月至 1835 年 5 月，井匠以一个 65.5 千克重的钻头，连在一条长 1.37 米（重 225.4 千克）的铁（钻）杆上，试钻（一口）井深为 73.31 米。为了避免钻井时绳索伸缩太大，塞缕便将绳索改成铁缆，改后每次钻头冲击井内岩石时，要旋转铁缆（中国俗名“转銼”——作者注），以此保持井筒垂直和圆滑。

1834 年，弗罗曼（G. W. Fromman）在萨尔路开始试钻。第一口井钻进分上、下两段进行，上段用钻杆法钻到 41 米时，下段再用绳索法继续钻进，完工后钻井深 80 米。前者钻速 0.78 米/小时，后者钻速 0.941 米/小时。之后，从 5 月 15 日至 8 月 9 日，又钻了第二口井，其深度为 91 米。钻井时，关于钻具的组合和串连方式：（从上而下）麻绳（直径约 2.5～3.0 厘米）→钻杆（重 350～400 千克）→钻头（包括横刃形钻头、顶形钻头、十字钻头）。钻具全长（含钻杆及钻头）约 2 米，麻绳长度随井深而定。

1835 年左右，欧洲著名钻井专家卡尔·戈特赫尔夫·金德，在魏玛附近的施托尔黑姆（Stotternheim）地区，采用绳索钻井法进行试验，钻至井深 300 米时遇阻，当然，这个深度不够理想，但在上述试验井中，算是最深的井了。

1846 年，古勒特（Goulet）在兰斯（Reims）地区，开钻试验，钻井深度 150 米。科拜龙（Corberon）用绳索钻井法，井深为 100 米。采矿工程师格鲁纳（Grüner）同样采用绳索钻井法，钻了一口井，直径 15 厘米，井深仅为 45 米。

总之，我国绳式顿钻技术先进，传入欧洲，备受钻井工程专家、采矿工程师们的青睐，仿用获得初步成功。它与当时西方“木杆法”相比，有钻井技术先进、操作简便、钻井质量高、井下事故少等优点（见表 1－1）。

表1-1　西方木杆法与中国绳式（竹篾）钻井法比较

| 对比项目＼方法 | 木　杆　法 | 绳式顿钻法 |
|---|---|---|
| 钻具重量 | 重 | 轻 |
| 起下具操作 | 浩繁 | 简便 |
| 钻速 | 慢（0.785 米/小时） | 快（0.941 米/小时） |
| 振动 | 厉害 | 轻微 |
| 钻井质量 | 低 | 高 |
| 井下事故 | 多（木杆常折断） | 少 |
| 钻井工时 | 多耗时间 | 节省时间 |
| 用工人数 | 多 | 少 |
| 造价 | 昂贵 | 低廉 |

（据（德）汉斯·乌尔利希·福格尔《四川深钻技术传播到西方的真相和争议》与苏轼“蜀盐说”及马骥《盐井图说》对比后列表）

中国绳式冲击（顿钻）钻井法，当时处于世界领先水平，从17~19世纪相继传入西方。如欧洲的钻井工程师普遍进行推广和仿用，并初见成效。但是，西方有的钻井工程专家在初次试验和仿用“中国绳式钻井法时，由于技术措施不当或工具设备所限等，因而出现这样或那样的故障在所难免。如1835年，金德在魏玛地区进行试钻中，他用钢缆（细铁索）悬吊横刃（凿子）形钻头，结果钻头滑落在石灰岩地层井中。又如，1835年，塞利克（Sellignc）在巴黎军事学校附近初次试钻，钻至井深200米处，钻头卡在井底，致使全井报废。此外，当时西方试钻的井较浅，约45~300米，相当于我国宋代卓筒井的深度。还有些例子，这里就不列举了。

钻采地下气卤资源，是同自然界作斗争。而地下的情况是十分复杂和多变的。根据中国约千年的钻井工程实践经验证明，钻井的成败和胜负，涉及多方面的技术，但总括起来主要有四个方面：一是与地下地质条件有关（如地质构造复杂或简单，岩层变化大或小等）；二是与钻井深浅有关；三是与钻井工艺技术水平有关（包括钻治井工具、钻井工艺、修治井技术等）；四是与钻井工匠技能高低有关。特别是中国创造的钻井技术，从宋代发明，到清代已完善。钻井工艺从开钻到完钻分为九道严密工序。钻治井工具（包括地面设备）分11大类计100余钟，由钻井、打捞、固井、修井等，已形成了一套完整的工具群，可以对付井下各种复杂情况。同时，中国钻井工匠的技能十分高超，他们从工具制作、捆扎、组合到井下作业，有一套独到的技艺，十分精湛，谓之“绝技”。这套“绝技”是在长期钻井实践中不断总结和完善的，而且“只能意会，不可言传”[56]。井匠（管事）要懂得和掌握这套“绝技”，必须经过数年乃更长时间的实践操作，并非一日之功。为



此，绳式冲击钻井法是中国独创的和特有的，也是当时世界上最早和最先进的钻井技术。在19世纪初，中国钻井工匠就运用这种方法，钻过地下各种复杂的岩层及岩石裂隙，开创了世界第一口超千米的深井——燊（兴）海井。那种认为：中国绳式钻井法只能用来钻凿不含水的软质岩，不能用于钻凿硬岩和大裂缝岩石，或只能用它钻探浅井，不能钻凿深井的说法，真是天大的误解，应给以澄清。

3. 西方绳索钻井法的改进和兴起

中国绳式钻井法传入西方后，欧、美根据钻凿深井和井下安全钻进的需要，于是，又对钻具和设备进行了重大的改进，在深井钻探中起了重要的作用。如“自由下落式钻杆”，又称“自由降落式钻杆”的应用。这种钻杆，于1834年由坎德（Kind，又名金德）改制而成。关于“自由下落式钻杆”及其工作原理，美国科技史专家墨尔索夫在《世界古代钻凿技术及其作用》一文中说：自由下落式钻杆是钻具的一部分，由两个伸缩部分组成，当其下落时自然关闭，接触物体时又自然分开，撞击后关闭，与“套筒”相似。在早期的报告中，常将这两种相混淆，然而，它的功能是保证撞击力不变，而套筒是靠反作用力来缓冲撞击和松弛钻机，把这两种改进结合起来，就大大增强了钻工的能力，以便更准确地判断井中钻具活动的实况。至于涉及这项发明的优先权和传播起源时，该文又说：“套筒本身在欧洲和美洲几乎同时出现。……这项发明似乎既不属于欧洲人，也不属于美洲人，如果按李约瑟的说法，套筒在中国17世纪钻井设备中就出现了。”[54]当然，它是中国人最早的发明。所谓“自由下落式钻杆”（即顿钻的“活环”）的工作原理，实际上是类同中国明代发明的“撞子钎”，清代又由“撞子钎”改成的“转槽子”（和把手连接）的功能。又如，地面盘绕绳索设备装置的革新、蒸汽动力的使用和加大等，便于更快、更有效地钻井，都仿效了中国钻井的地面设施。总的来讲，钻具的改进，地面动力设施的增大，从而促进了西方绳式钻井技术蓬勃的发展。绳式钻井技术的进展，又为深井钻探创造了条件。

美国绳索钻井技术，大约始于1830年，早先称为“宾夕法尼亚州钻井法”[54]，自此以后，美国无数的新一代钻工掌握了这种方法[54]。1859年，当德拉克石油井钻成后，绳索钻井法成为钻探石油的重要手段。1860年至1900年，则是美国绳索（包括麻绳、铁缆、钢绳等）钻井法发展的高峰时期。美国改进的绳索钻井法，不仅打出的孔眼近乎于垂直，而且，“钻进深度可达1 200米”[57]。因此，阿尔森斯赞扬道：“‘奇迹’是属于钻工熟练的操作，属于钻工、机器和钻具共同工作的结果。”[54]1901年，美国水力旋转钻井法研制成功后，绳索钻井法的应用便开始逐渐有所减少。

俄国绳索钻井法，亦是在木杆法基础上发展起来的。根据两种方法的出现和在钻探中的作用，大致可分为两个阶段。第一个阶段（即12～19世纪50年代）木杆法占据主导地位，钻采地下的卤水和淡水（供水）；第二阶段（即19世纪60年代～19世纪末），绳索钻井法和木杆法并用，在乌赫特、北高加索、普雪朗半岛等地，大规模地钻探石油和天然气。到20世纪初，在石油钻探中，有效的泥浆旋转钻井代替了冲击式钻井法[12]。

西方改进的绳索钻井法，钻井深度取得了惊人的成就，基本上达到了中国绳式




（竹篾）钻井技术的水平。1860 年，美国在钻塔的协助下，钻井深度已超过 1 000 米。与美国同时期的欧洲，乔治·科尔布（George Kolb）在拜罗伊特（Bayreuth）附近钻井深度为 502 米[53]，这比钻井试验的初期，有了巨大进步。于是，西方应用绳索钻井法十分盛行。1865 年前后，这种钻井法由哈顿（Hattann）采用。1868 年左右，由盖斯克（Gaiski）采用。1869 年左右，由桑塔格（Sonntag）采用。1871 年左右，由克尔雷堤（Klerij）采用。1872 年左右，由凯布利奇（Koebrich）在施塔斯富特采用。1874 年左右，由弗诺克（Fauch）采用。1875 年左右，由霍克斯特拉特（Hochstrate）和朗古尔斯（Rungius）采用[53]，等等。

由上可证：从 17～19 世纪，外国通过来华的外交使节、传教士及专家等各种方式，直接把中国绳式（竹篾）冲击式钻井方法传入西方世界，并经过试验和仿用，获得了初步成功。同时在试钻的基础上，结合深井钻探的需要，对中国绳式（竹篾）钻井法进行改进，钻井深度取得了惊人的成就，1862 年，美国绳索钻井法钻凿的石油井超过了 1 000 米，相当于中国 1835 年的钻井水平。为此，中国钻井技术的西传，促进了西方钻井技术的进展。

## 二、中西钻井技术的对比
### ——中西钻井技术的渊源关系

中国是世界上最早发明钻井技术的国家，中国钻井技术的发明，为世界钻井技术的发展开辟了道路。因而，中西钻井技术的对比，从另一个方面反映了中西钻井技术的渊源关系。从而为中国钻井技术西传，提供了史实例证。

### （一）中西早期钻井技术的对比——中国的竹杆法与西方木杆法的比较

中国是人类历史上最早发明深钻技术——卓筒井工艺的国家。这项重大成果，从 12 世纪至 19 世纪以前，先后传入西方，为西方世界深钻技术开辟了道路。

宋代卓筒井钻井原理与西方古、现代的“木杆法”、绳式“标准顿钻法”凿井原理基本相同，均称冲击式钻井方法。当然，毋庸讳言，中西钻井方法也有某些差异。这是因为中国钻井技术西传后，他们在应用时，考虑了本国或地区的实际情况，如地质地理条件的不同，井匠技术水平的高低，地面供给材质来源的多少（或有无）及社会生产力发展水平的差异等，并对地面机械、钻具的组合、钻井作业进行增减，个别环节上加以适当改进，便于地面或井下作业，这是钻井工程中正常的现象，不足为奇。于是，中西钻井方法中出现了某些区别，这不能否定中国钻井技术的西传。如地面打井的动力机械，中国古代主要应用“碓架”（即“杠杆原理”的应用），而西方如美国采用的弹力钻井法，其结构比碓架简单，不用架框，仅以一根弹力木杆（类似碓架上放的“碓板子”），一端（大的一端）横固在木桩上，木桩距木杆约 1/3 处再卓立一根木叉，另一端悬吊钻具及两只脚环。钻井时，两个井匠各一只脚踏在地下，另一只脚踩在环中，两人一起用力往下踩，木杆向下弯曲，钻头随钻具向下冲击岩石，脚松后，木杆带着钻具弹起复原。如此往复，直到钻井完毕。又如，钻具的组合和串连，中西有同又有异。中国钻具连接有两种方式，一是以竹篾（竹条）牵引钻具，称之竹绳冲击式钻井法；二是以竹杆（竹筒）连接钻具，又名竹杆法。西方钻具连接也是两种方式，一则以木杆（树杆或铁杆）串连钻具，统称木杆法；二则用棕索或钢绳悬吊钻具，命名绳式顿钻法。但是，尽



管中西钻井方法存在某些差异，但并不否认中西钻井技术的亲缘关系。

1. 西方“木杆法”的出现和盛行

中国钻井技术，11世纪中叶发明，世代相继，不断发展，到17~19世纪，我国早期应用的“竹杆法”钻井淘汰殆尽，竹篾（绳式）冲击钻井方法盛行，步入了钻井的黄金时期。

这时，欧洲采用“木杆法”钻井开始兴起，到19世纪初，欧美普遍推广和应用这种方法。其时间之长，范围之广，形成了西方钻井技术史上的特色。但“木杆法”不是西方所独有的。

（1）欧洲早期钻井的方法——木杆法

欧洲的钻井技术起源较早，在钻井初期，皆用木杆法。在欧洲，人们一开始是用（硬）钻杆钻井，但钻杆的重量随着钻井的加深而大大增加，从而影响钻探工作。此外，这种钻探的方法既费时又费钱，因为钻杆经常折断。“欧洲深钻井技术出现在中世纪，其中有用螺旋钻头的旋式钻井法和一字钻头与多条深孔（硬）钻杆套用的撞击钻井法（即冲击式钻井法）”[53]。如俄国17世纪末至19世纪中叶用木杆法钻井，据苏联库里奇辛等著《钻探工程》（上册）述道：俄国“1687年，图腾姆斯克工厂（苏河畔），曾有百余个大直径作废了的钻井，每个井深度约100米，当时的钻井是用（硬）木钻杆冲击钻进的。并用原始的木套管加固钻井”。至“19世纪30年代，这是由于发展城市供水的钻探事业所致。在此阶段，钻探的主要方法是用（硬）钻杆冲击。1845年才开始……改进了上述方法”[12]。但是1859年至1893年期间，所有石油井的钻探仍是用（硬）钻杆冲击法及（软）钢绳冲击的方法[12]，从而使石油勘探取得了较大发展。（德）·W·康拉德等著，周忠德等译的《科学发现与发明辞典》（“深孔钻进”条目）载道：“深孔钻进法，自18世纪以来已发展成为一种勘探有用矿物的主要方法。最初出现的是冲击式凿岩法。这类方法中为首的是（硬）钻杆冲击式凿岩，钻进深度100米，在某些情况下可达200米，缺点是钻杆负担过重。”[57]由上可知：

其一，欧洲自开始钻井时，皆用（硬）“木杆法”①。至19世纪中叶后，绳式冲击钻井方法出现②，才逐渐失去它的优势，为此，欧洲深钻技术是从“木杆法”发端的。

其二，木杆法钻井深度100~200米。

其三，木杆法钻井，包括盐水井、淡水井、石油井及有用矿物勘察井等。

其四，木杆法钻井，缺点是钻杆重，并随钻井深度增加，其加重越大。同时，井内容易发生钻杆折断、钻头脱落等事故，损耗大，费用多等。

（2）美洲早期的“木杆法”——以美国为例

美洲“木杆法”的出现，比欧洲要晚，但发展快，后来者居上。据李吟秋著《凿井工程》云：“木杆法（又名搅凿法），在美洲应用最早，其法同中国四川凿盐

---

① 木杆法：其硬钻杆，不仅是木杆，还包括竹杆及金属杆之类。

② 绳索：欧洲早期用的麻绳、棕绳及后来的钢绳之类。中国早期主要应用竹篾（即井篾、火掌篾）、竹索等。

井、火井之法，大致相同。”[47]如美国开始应用木杆法钻井，在19世纪初，由拉夫纳研制成功。1808年，他用木杆法打出了美国最早的盐井，井深约19米，得到大量高咸量的卤水，从而开创了美国深钻技术的肇始。之后，1838年，希尔德雷斯博士，以长木或胡桃木杆作柄（钻杆），再将连环扣把钻头嵌合起来，另用昂贵的吕棕麻绳捆扎起来，组成钻具。在卡诺瓦河谷，钻成120口盐井，平均井深116米[7]。1840年，又在这里钻井，井深超过了300米。美国一般硬“钻杆用长20英尺（折约6米），直径2英寸（约5厘米）的橡木杆制成，采用榫头连接。直到德雷克（Drake）用绳子代替钻杆获得成功后，钻杆的使用就减少了”[58]。“杆式钻井法在美国直到1860年一直占统治地位。但是，1859年宾夕法尼亚州Oilcreek的德雷克井钻成后——美国石油工业的开始，就基本上放弃了使用不断增长的马尼拉麻绳，而采用更快、更方便的钻井索。……在加拿大钻井设备中继续使用铁、钢、木质钻杆。”[53]为此，美国应用木杆法钻井，自19世纪初开始兴起，至19世纪60年代，钻井工程师德雷克用绳索代替硬钻杆成功后，于是，木杆法就逐渐走向衰落。但是加拿大杆式钻井法一直延续至19世纪末。可见，木杆法在美洲大陆出现晚，发展迅速，衰退很快（从兴到衰约一个世纪），此为其特点。

2. 中国竹篾（绳式）冲击钻井法和竹杆法的开创

中国发明的钻井技术，是一种冲击式钻井方法，简称旧式顿钻法。但按其钻具的组合和串连方式不同，又有两种钻井方法的称谓，一是用竹篾（又名井篾、火掌篾即软竹条）悬吊钻具，用于钻井，则命名为竹篾（绳式）冲击钻井方法，它与西方近、现代（绳式）冲击式钻井原理相同；二是以竹杆（即硬钻杆）与钻头连接用来钻井，取名竹杆冲击式钻井法，简称“竹杆法”，这种方法与西方早期的“木杆法”一致，可谓它的前身。竹杆法与竹篾法二者孰先孰后，或同时并列，苏东坡在“蜀盐说”里尚未提及，其他史籍也无记载，因此，难于稽考。幸好，两种方法在明代出现和并存，为今天研究提供了最佳史证。前者在马骥《盐井图说》里有明确记述：“兴井日，北口傍两木，横一木于上，有小木滚子，以火掌绳钎末，附于横木滚子上，离井六七步为一木桩，纠火掌篾而耦舂之，滚竹运钎，自上下相乘矣。匠氏掌钎篾坐井口旁，周遭环转，令其窍（井筒）圆直。”足见，“火掌绳钎末”即用火掌篾悬引铁钎钻头凿井，则是竹篾（绳式）冲击钻井方法的特点，以此区别西方“木杆法”。后者在宋应星《天工开物·井盐》中有明白无误的记载：铁锥钻头“向石山舂凿成孔，其身破竹，绳夹悬此锥。每舂深入数尺，则又以竹接其身，使引而长。初入丈许，或以足踏碓稍（梢），如舂米形。太深则用手捧持顿下（应理解为人手“转碓”——笔者注）。所舂石成碎粉，随以长竹接引，悬铁盏挖之而上。大抵深者半载，浅者月余，乃得一井成就”。请注意，文中“其身破竹，绳夹悬此锥”一句，即是将竹筒一端剖开，夹住铁锥顶部“云头”，然后在竹筒破开处，外面缠绳（或另加铁箍）扎紧固牢，而不是用竹篾（条）夹悬铁锥，用绳紧固定。并随着钻井“深入数尺，则又以竹接其身，使引其而长”，即每凿井约1～3米，就要用竹身（圆杆）把它连接长（竹钻杆长度，由井深而定），直到钻井完工。同时，宋应星又在《天工开物·井盐》篇绘有“凿井图”一幅，图示铁锥钻头与竹（钻）杆连接的实况，文、图相映，明确无误（参见第五



章图4－1）。

由此可知，在古代井盐钻井史上，先民们不仅发明了竹篾（绳式）冲击钻井方法，而且还创造了“竹杆法”。为此，就世界钻井史而言，欧美早期钻井应用的“木杆法”，即类同中国的“竹杆法”，并非西方钻井方法的独创，倒像是我国“竹杆法”的仿制。但在过去一些井盐史论著中，多详载竹篾（绳式）冲击钻井方法，而忽略了“竹杆法”，如今应该给予补缺确认，恢复其应有的历史地位。

由此认为，既然明代已用了“竹杆法”（硬钻杆）凿井，那么，在此以前，卓筒井开创的初期，盐井钻凿较浅，同样采用了竹杆法钻井是很有可能的。总之，硬钻杆法和软绳式法，二者有可能在卓筒开创的初期，或先或后实验成功，并延续到明代。

明代以后，随着盐井或油气井深度的增加，这种方法弊端丛生（如钻具加重、井下事故多等），不宜应用，因此，自然被淘汰。这时，竹篾（绳式）冲击钻井方法，以它独具的特点和优势，备受钻井匠师的应用和推广，占据主导地位，以致完全取代竹杆法，成为我国古代标准的冲击式（顿钻）方法，并被详尽地和广泛地载入各种史册。而竹杆法早已被淘汰，所以，在明代以后的史籍中绝迹，也是必然之事。

在此，还提及一点，竹篾（绳式）冲击钻井方法与竹杆法，在竹篾（竹制软绳）与竹杆（竹制硬钻杆）制作工艺、钻具的组合和串连及钻井操作等方面有差异，因而被国外视为两种钻井方法之称谓，但二者钻井的原理相同，均属于冲击式（顿钻）钻井方法。

据上述中西早期钻井技术的对比，以下有两点确认：

第一，硬钻杆（竹杆）冲击钻井法，中国至迟在明代就研制成功和应用了，且与竹篾（绳式）冲击钻井法齐名。明代以后，由竹绳顿钻法取代，自此，竹杆法淘汰殆尽。这时，西方“木杆法”开始兴起。为此，硬钻杆用于钻井，绝非西方独有。

第二，中西早期的钻井技术有着渊源关系。西方早期的“木杆法”，仍然与我国11世纪卓筒井钻井原理相同（包括竹杆法及竹篾绳式冲击钻井法）。尤其钻具组合和串连方式，完全和“竹杆法”一样，很可能就是对它的仿效。为此，中西早期的钻井技术有着渊源关系。正如李约瑟博士所说，人类早期在交往中，有许多渠道现在是看不见的。

（二）中国古代钻井技术与西方现代钻井技术的对比

中国古代钻井技术，历史悠久，自宋代发明，迄今已有九个半世纪。我们聪明智慧的先民，在11世纪中叶发明的卓筒井工艺，为现代钻井技术奠定了雏形。从11世纪至19世纪，又经历了长足的发展，我国钻井技术日臻完善，达到了高峰阶段，因而在世界钻井史上享有无可争辩的领先地位。若将我国古代钻井技术与西方现代钻井技术进行对比，就不难发现，中西钻井技术有着密切的渊源关系。如，西方现代旋钻法钻井工艺，与我国古代冲击式（顿钻）法钻井工艺分九道严密工序大致相同；又如，现代旋钻法钻井开始应用的“鱼尾”钻头，同我国古代冲击式（顿钻）钻井法的“鱼尾”钻头相仿；再如，现代旋钻法的地面设施，与我国古代

钻井场地面安装的设备类同，正如美国人罗伯特·K·G·坦普尔所说：考察中西钻井技术，西方现代旋转钻井方法，仍遗留下了中国古代钻井技术的痕迹。[43] 因此，中西钻井技术都是一脉相承的或是相通的。这又从另一个侧面为中国钻井技术西传提供了理论依据和实物依据。因此，为便于研究中西钻井技术的渊源关系，这里就中西钻井技术中两个主要方面进行对比。一是钻井工艺的对比；二是凿井钻头的对比。现分述如下：

1. 中西钻井工艺的对比

在世界上钻探小口深井的方法，主要分为两大类：一类是冲击式钻井方法，又名“顿钻法”；另一类是旋转式钻井方法。前者在古代，它的发明和完善在中国。后者在现代，它的创造和发展在西方，其中以美国和苏联为代表。

中国是世界钻井技术最早的发祥地。我国发明的钻井技术，比西方如美国至少要早七个半世纪，比俄国最迟要早一个多世纪，成为世界钻井史上的先驱。1041年至1054年（北宋中期），卓筒井新工艺的创立，开创了我国及世界深钻技术的肇始。其钻井原理，奠定了现代钻井技术之雏形，因而具有划时代的意义。

明万历年间（1573—1620），我国井盐钻井技术有了重大的突破，川北射蓬盐区钻井深度为300～400米，之后，川南自贡盐区钻深达到了近500米。而且固井工艺应用了新技术和新材料。

清道光中期（1831—1835），世界著名盐都——四川自贡之燊（兴）海井，钻井深度达到1 001. 42米。这是我国古代井匠技师，发挥了惊人的创造力和高超的工艺技术，成功地钻成了人类历史上第一口超千米的深井，也是世界钻井史上第一块丰碑。它标志着中国钻井技术日臻完善。

这时，西方所钻的井都是一些浅井和中深井。如1852年，法国人威格诺在维多塞斯钻成三口井，其中最深的一口仅有560英尺（折170. 7米）。又如1808年，美国人约瑟夫·拉夫纳在卡诺瓦地区打出第一口盐井，钻深59英尺（折18米）。至1845年，钻了一口最深的盐井1 700英尺（折518. 2米），可见西方钻井深度仅相当于我国明代的钻井水平。与清代燊（兴）海井千米深井相比，只是小巫见大巫。

现代旋钻式钻井技术诞生在西方。1867年，法国巴黎首次出现了旋转式钻机，这种钻机的发明人是德拉罗什·托拉约。此后，沃思又设计了一种工作原理类同的井底冲水式深井钻机[57]。

此时，美国在研制旋转式钻井方面，也取得了进展。至1901年，美国在得克萨斯州首先应用旋转式钻进法钻探石油获得成功，“成绩之佳，盛传一时，自是而后，其法益为通行矣”[47]。自此，“其他国家也用该法钻探石油或其他种矿物。”[57]

西方旋转式钻井法研制成功，它是继我国卓筒井的发明和燊（兴）海井钻深超千米之后，在世界钻井史上的又一次飞跃，也是世界钻井技术的第二次大革命。从而为人类改造自然，向地下深处开拓，索取石油（天然气）及其他矿产资源，提供了先进的、可靠的技术装备。

当今世界，科学技术突飞猛进地发展，科技硕果与日俱增，创造了巨大的生产力，极大地推动了人类社会的进步和文明的发展。特别是20世纪70年代以来，世



界上的深钻技术，以惊人的钻速向地层深部开拓，已取得了历史性的重大突破。近万米和超万米的深井相继出现。1974 年，美国在俄克拉荷马州钻成罗杰斯 1 号深孔，井深 9 583 米[59]；1986 年 3 月，苏联在科拉半岛 CT－3 孔，钻井最深达12 300 米[59]；1994 年 10 月 12 日，联邦德国 KTB 主孔钻深为 9 100 米[59]。据现在世界钻探水平看来，苏联科拉半岛钻成 12 300 米超深井，创造了历史最新记录，居世界领先地位。

由上得知，古代冲击式（顿钻）技术发明和完备在中国，现代旋钻式钻井技术诞生和发展在西方。目前在这方面，苏联和美国钻井工艺技术最先进，显示了改造自然的巨大威力。但是，中国古代钻井技术的发明，为现代钻井技术的创立铺平了道路。这可从中西钻井工艺基本相同得到证实，以古代盐井钻井工艺和现代石油（井）钻井工艺为例（见表 1－2）。

**表 1－2　中西钻井工艺的比较**

| 中国古代冲击法钻井工艺（盐井钻井工艺） | 西方现代旋钻法钻井工艺（石油钻井工艺） |
|---|---|
| 1. 查井位，签井 | 1. 选井位，定标志 |
| 2. 开井口，下石圈 | 2. 开钻，下导管 |
| 3. 凿大口 | 3. 钻进 |
| 4. 下木柱（木制表层套管） | 4. 下表层套管（钢制套管） |
| 5. 凿小口和见功 | 5. 钻小眼和达目的层 |
| 6. 腾位置 | 6. 钻余位 |
| 7. 搧泥（间断地捞取岩砂） | 7. 返岩屑（连续地从井里返出岩屑） |
| 8. 补腔（补干腔及水腔） | 8. 补井（补垮岩及止水） |
| 9. 取难（即打捞井下落物） | 9. 解除井下事故（即打捞井下事故） |

据（苏联）伏·尔·米海洛夫著《油井钻凿读本》（石油工业出版社，1954 年）及清·丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

上表，古代和现代钻井工艺的九道工序中，除搧泥（间断地）与返岩屑（连续地）有不同处外，其余八道工序都相同。由此可得出这样的结论："以自贡为代表的钻井技术完全奠定了现代钻井技术基础。现代的钻采工艺完全是那时的底子，所变化的不过是材质、名称、动力而已，现在有的，那时早就有了。"[60]

古代冲击法凿井工艺与现代旋钻法钻井工艺基本相同。也就是说，古代钻井要素，包含了现代（旋钻）钻井要素。我国人民早在北宋中期就发明了"圜刃"锉，用它开创了"卓筒井"新工艺，到鸦片战争前后，由于凿井工艺日益成熟，以及钻头的改进，在自贡地质条件复杂的情况下，于 1835 年成功地钻凿了世界第一口上千米的深井。其钻凿工艺技术，在当时是我国也是居世界第一流的先进水平。与西方现代旋钻井法钻井工艺比较，大致相同。即使近 40 年来国外钻成上万米及超

万米的超深井，也是我国古代钻井工艺的沿袭和发展，其基本原理仍无差异。

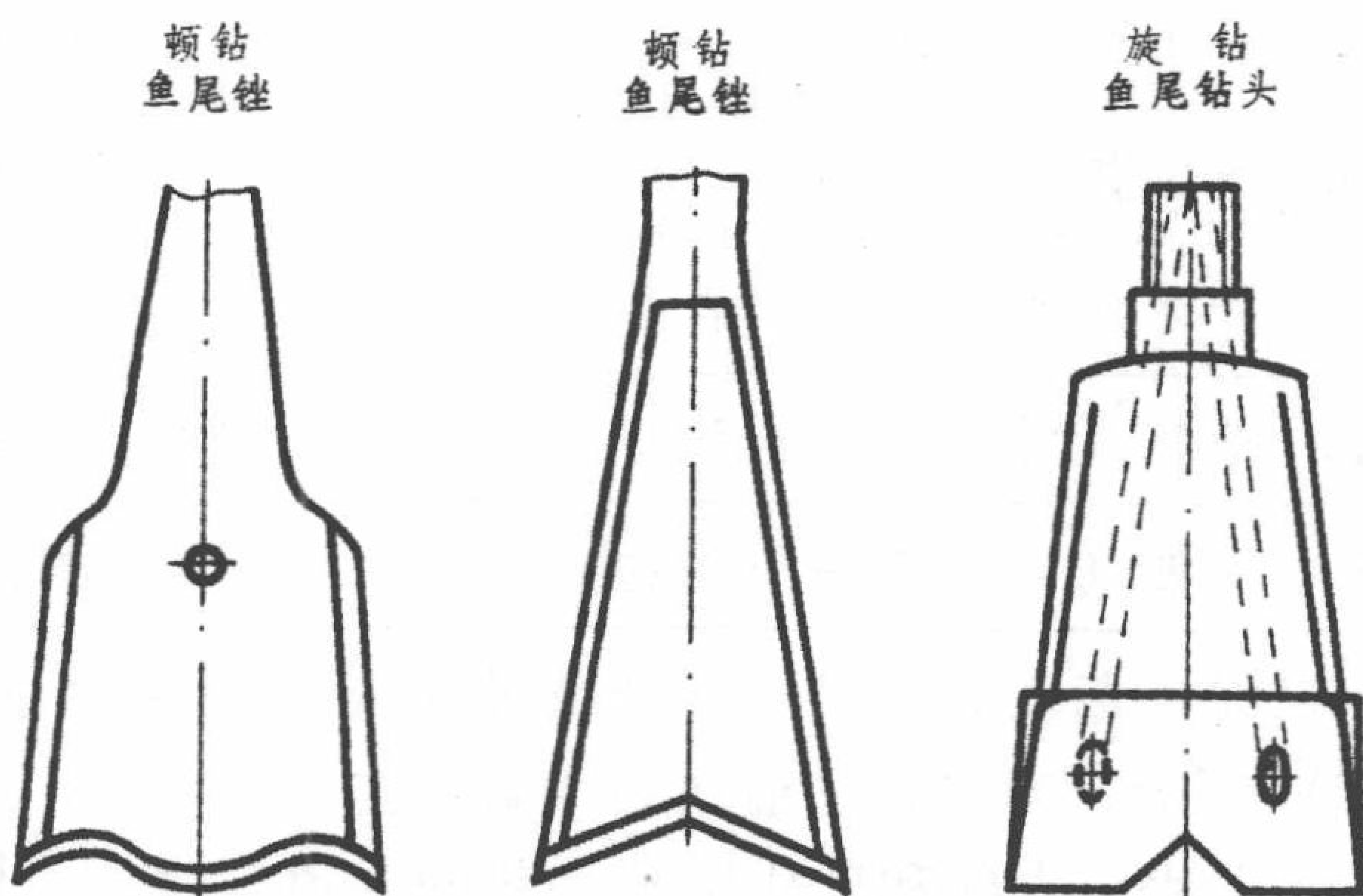
2. 中西凿井钻头的对比——以两种“鱼尾”钻头为代表

现代深井（旋转）钻头的始祖是圜刃锉（即圆刃钻头），但从圆刃钻头发展到现代旋转鱼尾钻头，历经了三代钻头的演进和发展：第一代圜刃钻头，早在11世纪中叶发明，它是人类历史上第一个钻头；第二代铁钎钻头，出现于16世纪末至17世纪初，它是由圆刃钻头改进而来的；第三代钻头，如鱼尾锉、银锭锉、双马蹄锉、垫根子锉，至迟创制于18世纪末，或19世纪初（即1835年以前）。1831年，美国人莫利氏（Willam Morris）由木杆法改良成“标准法”，即后来著称的绳式标准顿钻法。改变后的钻头形制，如一字钻头、工字钻头，与我国清代井盐凿井钻头银锭锉、马蹄锉类同。现代旋转式钻头“鱼尾”钻头，又同我国清代冲击（绳式）钻井“鱼尾”锉相仿。可见，美国人改变后的钻头，无论其形制如何改良，但它的基本的形制是改不了的，仍然与井盐凿井钻头类似。为此，凿井钻头的发明、发展及演变，不是孤立的，而是从古至今，从中国到西方，都是彼此关连的和相通的。其进展的规律由圆刃钻头→铁钎钻头→（顿钻）鱼尾钻头、银锭锉即一字钻头、双马蹄锉即工字钻头→（旋钻）鱼尾钻头、牙轮钻头及涡轮钻头。现在，以顿钻鱼尾钻头和旋转鱼尾钻头，即中西两种鱼尾钻头进行对比。

（1）古代冲击（绳）式钻井“鱼尾锉”

鱼尾钻头（今名剪式钻头、两翼刮刀式钻头）按钻井方法不同，分为两种：一种是古代冲击（绳）式钻井“鱼尾锉”，即名鱼尾钻头；另一种是现代旋转式钻井鱼尾钻头，后者是前者的仿制（见图1－5）。

清代同治十年（1871年）八月，正当秋高气爽，宜游时节，富顺县县令吴鼎立亲赴自流井“览其山川人物，访诸绅商”，就所见所闻，撰写了《自流井风物名实说》。对井灶分布、盐井起源、钻治井工具、地面设备、打井方法、采卤采气、输气笕管、制盐技术等，做了全面而真实的记载。特别是对钻治井工具的记述极为翔实，对研究自近代到现代钻井工具的演变和发展提供了科学的和史实的依据。鱼尾锉的名字始见于《自流井风物名实说》的记载：“平地开锉修竖碓房、碓架先用鱼尾锉。”又说“平地开井用锉，上锐、中阔，其末斜而宽谓之‘鱼尾锉’。长柄大末如银锭谓之‘太平锉’，太平锉重百余斤，长一丈二尺（约4米）。鱼尾锉重倍之，长一丈（约3.3米）”。1882年，四川总督丁宝桢主编的《四川盐法志》（卷三）中对鱼尾锉的大致形状、结构、规格、功能等记述更为详尽。




采自：（清）《四川盐法志》卷三　　据：自贡盐业历史博物馆藏品　　采自：（苏联）库里奇辛等。《钻探工程》（上册）

图1－5　两种鱼尾钻钻头对比



其一，鱼尾锉的定名：“上锐、中阔，其末斜而宽”，钻头形状如鱼尾，因此谓之“鱼尾锉”。

其二，规格：钻具全长一丈，钻头直径“八九寸（约27厘米），大者尺一二（约40厘米）”。总计重量二百市斤左右（折100千克）。

其三，功能：“平地开井用锉”即是用此锉凿大口。其深度“自八九尺至三十余丈，然后下木竹（木制表层套管）”。

一器多用或一器变多器是井盐工具的特点之一。鱼尾锉不仅用于钻井——凿大口（即下套管井段），而且还用于辅助打捞井内落物。如盐井内有两种落物并立，不便打捞，可用鱼尾锉将两者挤开（即分开），然后用其他工具分别捞取。钻井的鱼尾锉底部形制呈双鱼尾；辅助打捞鱼尾锉底部只呈单鱼尾，无论双鱼尾或单鱼尾，都是根据井内需要在形制上变化，但总是仿“鱼尾”形而锻造的。

鱼尾锉最早记载见于清同治十年（1871年）《自流井风物名实说》。根据自贡盐场盐业的发展，而实际使用应在此前，大大早于记载。由井盐生产可证，鱼尾锉创始于18世纪后期。根据当时的钻井实际情况，就完全可以得出这个结论。

老双盛井1765年开钻，曾一度停钻，接着钻至530米；大荣井比老双盛井还早，在井深745米时发现天然气，桂咸井在1815年已钻到井深797.8米；燊（兴）海井1835年钻达井深1 001.42米，完钻后，气、卤自喷开采。据这些井的钻深和地层来看，700米已钻完香溪群黄卤地层，800米进入了雷口坡组黑卤地层，1 000米钻到了嘉$_{四}$层底部。因此，没有鱼尾锉、银锭锉等工具配合钻井，是不可能完成的。《自流井风物名实说》记载的工具，多达50种（与《四川盐法志》卷三总计达80余种），这说明以鱼尾锉为代表的工具群，不是才开始出现，而是应用很久且普遍推广，十分成熟了，由此可以认定，吴氏记载的年代远远落后鱼尾锉实际出现的年代。

（2）现代旋钻鱼尾钻头

鱼尾钻头是现代旋钻法所用的三种主要钻头（鱼尾钻头、牙轮钻头及涡轮钻头）之一。[1]那么，这种钻头最早出现和应用于何时？

西方人承认中国是最早发明者：“在17世纪，四川发明了剪式（鱼尾——作者注）钻头。这一发明使钻井技术后来达到了新的深度。美国和欧洲是分别在1831年和1834年发明了这种钻头。”① 可见，中国发明和应用“剪式”（鱼尾）钻头，比西方要早约两个世纪。这是中西关于鱼尾钻头出现最早的说法。

美国科技史专家墨尔索夫在《世界古代钻凿技术及其作用》（载《盐业史研究》1993年第4期）一文里述道：19世纪80年代，经改进出现了一种新的钻井技术——旋转钻井。1880年，M·C·贝克将其带到得克萨斯的科斯卡拉，他们用旋转钻井方法在南达科打出了许多口水井，旋转钻井的动力是由马绞车提供的。之

① 1991年3月6日，德国《法兰克福汇报》撰专文说：“中国在11世纪已发明深孔钻探技术”，又“在17世纪四川发明了剪式（鱼尾）钻头”。这一发明，使钻井技术有了新的突破，创建了首次超过1000米的深井。





后，于1895年①，他们安装在第一口石油井上，这种设备使用“钻井缆”（井缆由分节的铁管组成）来冲洗钻具，旋转钻井用的“鱼尾”钻头可以移位和倾斜，不到六年时间，人们使用旋转钻井方法和鱼尾钻头在科斯卡拉周围钻出了上千口井[54]。

1937年，四川巴县石油沟第一口油井的钻探，采用了德制的鱼尾钻头。这年，巴_井先用德国制造的新式的旋转机开钻，配备了开孔钻头——即鱼尾钻头（直径375毫米）。后因加快钻速，改用美国牙轮钻头继续钻进，至1938年，钻深1 402米停钻。此井获气甚丰，并有凝析油，首传大捷[61]。该井的钻成，为四川巴县石油沟气藏的发现，开了先河。

20世纪50年代，苏联在旋转钻井中，一直使用鱼尾钻头。据库里奇辛及沃兹德维仁斯基在合著的《钻探工程》（上册）中写到，采用鱼尾钻头（切剥式）和齿轮钻头（破碎式）“回转式井底全面钻进的特点是使用此法时进尺不受限制，直到钻头磨钝为止。井底全面钻进软质岩石更为有效，修整很好的钻头可工作到1 000米以上而不致磨钝。”鱼尾钻头，今称两翼刮刃钻头，并随着钻探技术的发展，又有新的演进，即由原来两翼（呈鱼尾形），改进成三翼和四翼刮刃钻头[62]。足见，鱼尾一类型的钻头，在现代钻探中，仍然发挥了很好的效能，尤其在钻凿软塑地层中，功用奇特。

（3）两种鱼尾钻头的对比

据冲击式（顿钻）钻井鱼尾锉及旋钻鱼尾钻头的史实，从三个主要方面进行对比，即年代、形制及功能的对比。

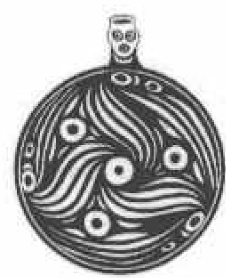
第一，两种鱼尾钻头出现的年代，前面已提及，西方有的学者认为，中国在17世纪已发明了鱼尾钻头。西方在19世纪初亦创制了这种钻头。但鱼尾钻头不是偶然的出现，而是与钻井口径增大和井的加深密切相关。根据西方的史料记载和研究，美国在19世纪末，旋转钻井方法研制成功后，配备和使用了鱼尾钻头。自此，鱼尾钻头在西方获得广泛应用。并从19世纪末到20世纪末，使用延续了一个多世纪。而中国冲击式（顿钻）钻井鱼尾锉的发明并投入盐井和油气井的开发，则是18世纪。所以，比西方旋转钻井鱼尾钻头的出现要早约一个世纪。如前所述，按西方学者说法，最晚在17世纪，中国四川发明了剪式（鱼尾）钻头……美国和欧洲是分别在1831年和1834年发明的这种钻头。中国比西方更要早约两个多世纪。

第二，形制相仿，名称全同。中国古代钻治井工具，是按井内实用设计和铸造的，而制作的工具像什么形状，就以什么形状命名，冲击（顿）钻鱼尾锉，由于它的形制像“鱼尾”，所以特定名“鱼尾锉”。以“形”命名，亦是中国井盐钻治井工具的显著特点之一。

旋钻鱼尾钻头的形制与冲击（顿）钻鱼尾锉相仿，名称亦完全相同。如20世

---

① 据美国A. I. 莱复生著《石油地质学》上册（地质出版社，1975年）述道：“1859年”，美国人狄拉克钻成了“第一口石油井”。而美国科技专家墨尔索夫在该文中说：“1895”年，旋转钻机安装在“第一口石油井上”。于是，美国出现了两个“第一口石油井”，而且出现的年代正好是“1859年”和“1895年”，最后两位数“59”、“95”相互颠倒。前者系指冲击式（顿钻）钻成的第一口石油井，后者是指旋转钻成的第一口石油井。即二者是应用不同钻井方法钻成的第一口油井。



纪40年代末，德国制造的最新式旋转钻机，配用的主要钻头之一，就有鱼尾钻头。又如20世纪50年代末，苏联采用旋钻法，切削式主要钻头仍为鱼尾钻头。这种相仿和全同，证明它们是一脉相承的，或者说得具体些，后者是前者的仿制。

第三，功能相同，冲击（顿）钻鱼尾锉与旋转钻鱼尾钻头，不仅形制相仿，名称相同，而且功能（主要方面）亦相同。旋钻鱼尾钻头，主要是用于钻凿大型井（包括钻进和钻小眼）。冲击（顿）钻鱼尾锉，根据井内需要，分别制作成双鱼尾和单鱼尾锉。前者用于钻井（即凿木口）及下木柱（下木制套管）对展平套管鞋的位置等，后者用于辅助处理井下事故。

由此证明：现代旋转鱼尾钻头，由古代顿钻鱼尾钻头仿制和改进而来。反映了古今钻井技术相承、中西钻井技术互通的渊源关系。

综上所述，中国井盐开采技术，历史悠久，驰名中外。自公元前3世纪开始，至19世纪以前，我国井盐凿井和开采技术一直名列世界的前茅，成为我国和世界科技史上一簇绚丽的花朵，我国井盐业，从古代至现代，发展之快，持续之久，历久不衰，虽然有多种原因，但是其主要原因是与社会需要食盐及凿井工程技术不断革新分不开的。

我国大口盐井的开凿，从秦代发端，历代发展，至唐代达到鼎盛。而深井钻探技术，则是我国聪颖智慧的先民，在汉唐大口盐井的奠基上，经过长期生产实践经验的积累，同时熟悉其他许多发明创造（如涉及力学原理、凿井技术、地质知识、冶炼方法、机械铸造等），即各种科技原理的综合运用，扬长避短，不断改进，于北宋中期，最早在世界上发明了深井钻采技术——开创了卓筒井新工艺。自此，我国井盐钻采工艺出现了划时代的革命。

我国古代钻井技术的发明和发展及其西传，启迪了西方现代钻井技术的诞生和改进，从而为现代油气资源的勘探和开发，掀起了世界性的一场能源大革命，对于人类社会的文明和进步，作出了伟大的贡献。同时我国深井钻凿工艺，其科技水平和高超技术，至今令中外专家、学者叹为观止，赞不绝口。

## 第三节　食盐在人类社会中的重要地位和作用

食盐在中国古代是一种特殊的商品，它以不可思议的魔力和巨大的功能，广泛渗透在社会中的各个领域。盐是人类生活和生存的必需品，盐税为历代封建王朝提供取之不尽的财源。正因为如此，在我国古代，为了盐利，不可避免地引起部落之间、国家之间、中央朝廷与地方政权之间的争斗，战乱不休，甚至影响到国家的兴衰和政权的存亡。由此，盐及盐业在人类社会中占有的地位和作用，即可显而易见了。

### 一、盐为“百味之祖”
### ——民生的必需品

食盐是民生不可缺少的营养素和最佳调味品。它与空气、水一样，是维持生命的三大物质之一。盐在人体内控制着水的量，能保持细胞和身体的平衡，并起着关键性的作用，它可帮助和调节肌肉细胞收缩，是血液和消化分泌系统组成的重要部





分，实际上，盐是维持生命的基本物质。在古代，中国人将盐视为“百味之祖”[63]“白色奇珍”[63]“食肴之将”[64]“国之大宝”[65]。尤其用四川井盐腌肉、烹菜，味美可口，人说“吃在中国，味在四川”[63]。古罗马人称盐为“有益健康的结晶体”[66]。为此，自人类认识和利用它以来，便与人们结下了不解之缘。

早在春秋时期，齐国名相管仲在《管子》“海王”篇中，精辟地论述了食盐与民众生活的密切关系：“十口之家，十人食盐；百口之家，百人食盐。终月大男食盐五升少半，大女食盐三升少半，吾子食盐二升少半，此其大历也。”① 又在“地数”篇云：“十人之家，十人吃盐；百口之家，百人吃盐。凡食盐之数，一月丈夫五升少半，妇人三升少半，婴儿二升少半。”而且“恶食无盐，则肿”[67]，“国无盐则肿”[68]。由此看来，博学多才的管子，已知吃营养不良的食物，食物中没有盐会患肿病。国民缺盐会患肿病。② 由于盐与民众生存关系十分密切，因此，管仲提出实行食盐专卖，以便向人民征税，中国食盐专卖制度，由此肇始。

明·宋应星在《天工开物·作咸》里，明确地记述了食盐是人们日常生活的必需品，如十天不吃盐，手就疲软得无力了。他说：“天有五气，是生五味。”又说：“辛酸甘苦，经年绝一无恙。独食盐，禁戒旬日，则缚鸡胜匹，倦怠恹然。岂非‘天一生水’，而此味为生人生气之源哉？”这就是说：自然界中有五种气，由此，便产生了五种味——咸、辣、酸、甜、苦。人们对于其中辣、酸、甜、苦四种味长期缺少任何一种都不会生病的。惟独食盐，十天不吃，就会出现手软得无缚鸡之力了。这难道不是天生一水，由此水的咸味成了人类力气的源泉吗[69]？

在古代，由于社会生产力水平低，人类受自然条件的制约，盐卤资源的开发有限，食盐产量少，远不能满足人民的需求，因此，食盐极其珍贵，尤其在交通不便的边远山区，不仅有“斗米斤盐”[70]之说，而且盐贵如银和金。“用一斤银钱换一斤盐，商人还不肯换；二百五十斤盐巴要金子三斤七两五钱。”[71]云南阿昌人曾把食盐称为“盐宝”，傣族人叫做“白色的金子”。西汉末建立新王朝的王莽，深知民情，盐为民“食肴之将”，再珍贵也得买：“夫盐，食肴之将，……非编户齐民所能家作，必仰于市，虽贵数倍，而不得不买。”[64]因盐为稀世珍品，时常被作为人际交往的礼品，甚至向朝廷献上的贡品。远古在夏、商、周三朝时，盐巴被列为贡品。据《尚书·禹贡》记载，山东海盐献贡：“海滨广斥，……厥贡盐絺。”另《华阳国志·巴志》中亦记载，巴蜀时期，川东巴人向周天子纳盐贡。在我国古代云南少数民族地区，以盐为币则是盐的一种奇特功用。“这种盐币上打有大汗的印记，非他自己的官员不得铸造这种盐币。”[72]“盐块（币）土人煮卤为之。”[73]国外，埃塞俄比亚人亦曾把食盐叫做“阿莫勒斯”，意思是“王国之币”。[74]古希腊人、古罗马人用食盐来买卖奴隶。[74]

在古代，盐主要用于民生食用。但随着人类社会的发展，科技的进步，盐的用途日益广泛。当今食盐与石油、煤、石灰石、硫磺为五大自然原料，在世界上起着

① 关于《管子》一书：相传春秋时期齐国管仲所撰，实为后人托名于他的著作。共二十四卷，原本八十六篇，“海王”属其中一篇。

② 民众无盐淡食，可能是缺碘患甲状腺肿大的病，即大脖子病。



极为重要的作用。因而，盐被称为“化学工业之母”，广泛用于手工业、农业、交通、兵器、医药、畜牧业、食品肉类加工、印染、制革、造纸等，盐的新用途增多和用量加大，从而又推动了盐业不断的发展。

## 二、中国封建社会历代王朝财政的重要支柱——盐税

在我国古代，盐、铁是国民经济的两大命脉：“盐铁之利，所以佐百姓之急，足军旅之需，务蓄积以备乏绝，所给甚众。”[75]为此，历代封建王朝尽“管天下盐铁”[64]。就食盐言，实行专卖，控制生产、运输及销售三大环节，为国家开辟财源，增加国库税收，以巩固封建政权的统治。

中国封建社会各朝代对盐业的干预和控制谓之“盐政”[76]。同时，有一套管理、规范食盐生产和流通领域的制度、条例、法令等，又谓之“盐法”[76]。在漫长的封建社会里，历代有关盐政、盐法变化繁多，不断翻新，令人眼花缭乱，但是，其实质无非是在盐利上打尽主意，企图借此增加财源。春秋时期，齐相管仲创始“官山海”①，推行了最早的食盐专卖制之后，历朝历代相继承袭，从汉代的盐铁官营、唐代的榷盐法、宋代的折中法、明代的开中法和纲盐法，直到清代的废纲行票等[76]。诸多的专卖制度，其目的都是垄断盐业，寓税于盐价，大量聚敛财富，增加国库收入。

盐利在国家财政中占有举足轻重的地位，为保障国家对盐税稳定的财源，因此，历代官府从中央到地方设置了各种管理盐及盐业的机构，委派了各级盐官。盐税在国家财政收入中占有很大的比重，仅次于田赋，有时甚至超过田赋，成为封建政府财政的强大支柱。

春秋之时，管仲大兴盐铁之利，国家对食盐产、运、销专管，寓赋于官府盐价之中，以增加国税收入，于是，齐国变富，称霸诸侯。秦国商鞅变法，主张盐铁官营，专山泽之利，管山林之饶②，收到了显著成效，“盐铁之利二十倍于古”[64]，解决了“军旅之费”“国赋之急”。唐代“安史之乱”造成了财政危机。刘晏（718—780）盐政改革，当家善财，使盐税占据国家财政收入的一半，缓解了“府库空虚，用度不足”的燃眉之急。据《新唐书》卷五十四云：“晏之始至也，盐利岁才四十万缗，至大历末，六百万缗。天下之赋，盐利居半。宫闱服御、军饷、百官禄俸皆仰给焉。”宋代盐课猛增，北宋庆历中盐课为715万缗，至南宋绍兴末高达2 100万缗[77]，比唐大历末增加4～5倍。故宋人说：朝廷大费，全借盐荣之利。四川井盐课税，则是川省地方政府财政重要来源，北宋初岁收80万缗，南宋绍兴年入400万缗[78]。盐税成为两宋财政支柱。清代尤其清后期，田赋、盐赋、盐税、关税、厘金是财政收入的主要来源。如清光绪末，全国盐税总计为2 400万两，约占全国财政总收入的12%左右[79]。这时，尤以四川（井）盐税增长很快，引人注目，达到630万银两，超过了四川田赋[80]，且占全国盐税26%强。为此，四川盐

① “官山海”：“官”即“管”相通，“山海”系采矿铸铁及煮卤制盐。这就是说，由国家统一管理盐业和铁业，施行民产官卖，控制流通领域来获取巨额利润，谓之“官山海”。

② “专山泽”“管山林”：所谓“山泽”、“山林”，即指矿产、林木等资源。而专山泽、管山林，其意是说，这些资源为官府独占，不许人民采矿、砍柴、打猎、捕鱼等。




税在蜀省财政中占居首位，又在全国财政中占有较大比例。

## 三、盐与国家政权

### ——盐关系国家政治、军事、政权

食盐乃为人们生活的必需品，无论贫富，男女老幼，人人都是要吃的。因此，盐的供求弹性甚小，不管盐价贵贱，均可售卖。封建统治者正是利用盐的这一特性，大肆搜刮和聚集财富，以巩固其封建政权。在我国数千年历史的古代王朝中，对于盐及盐产地权力的控制，已成为民族发展、建立霸权、朝廷更替、国家兴衰的一个重要因素。

盐对人类社会产生重大的影响，最先可以追到史前时期。据考古发现和人类史学研究证明，早在初民时期，盐及盐业，与人类发展和史前文明有着密切关系。在我国，华夏各民族的聚居和分布，特选定在山西解池盐湖周围——黄河三角地带的数百千米地区。如尧都平阳、舜都蒲阪及禹都安邑，均建立在解池附近地带。黄河、长江流域考古新发现，史前时期聚居的人类及文化遗址，往往与这里的天然盐湖、盐池、盐泉及岩盐有关[81]。在原始社会生活中，盐成为影响人类聚居和分散的重要因素。于是，黄河流域成为华夏民族的摇篮，长江流域（如川东）又成为人类史前文明的发祥地。远古时期，虽然人类文明发展程度高低不等，但是，无不与食盐产地取之便利与否密切相关。在非洲肯尼亚北部的图尔恰纳湖，即是一个产盐的巨大咸水湖。于20世纪60至80年代，考古学家利基夫妇及其子理查德·利基，先后在湖的周围发掘出190多个史前人类的智骨化石，4 000多件各类动物化石。[82]因而，这里亦被称为人类文明的摇篮之一。

在我国进入阶级社会，尤其是进入封建社会以后，盐及盐业对社会民生、经济、政治、军事、科技、文化等的影响，远远超过了史前时期。乃成为涉及国家兴衰、政权更替的一个重要原因。

春秋时期，齐国地处海滨，著称“海王之国”，盛产盐鱼。齐相管仲充分利用这一自然资源，主张通商工之业，便盐鱼之利，资生之富，充盈国库，国势得到了迅速的发展，终于取得“九合诸侯，称雄五霸”的伟业。正如郭沫若先生所说：“齐桓公之所以能够划时代地成为五霸之首，在诸侯中出人头地，在这儿可以得出他的物质根据。煮海为盐积累了资金，铸铁为耕具提高了农业生产。所以齐桓公称霸并不仅仅由于产生了一位杰出的政治家管仲，而是由于这个杰出的政治家找到了使国富民强的基本要素。”[83]西汉时，雄才大略的汉武帝，垄断盐铁，聚集财富，“夺民之利”[84]，“财或累万金”[64]，盐利成为国库的重要支柱，由此实现了安邦治国，出现了中国封建社会“富国强兵”、社会经济繁荣的第一个高峰阶段。

唐代中后期的盐业，对维持唐王朝的生存和发展起了巨大的作用，但也对唐王朝的衰败和灭亡产生了重大的影响。唐朝的繁荣和强大，在玄宗时期，达到了鼎盛。自此，唐朝的衰落也开始了。在由盛到衰的大转变中，爆发了“安史之乱”。暴乱使社会经济遭到了极大的破坏，国库空虚，财政窘困，中央集权遭到沉重打击[50]。

唐王朝为了加速恢复和增加财源，于是，在唐肃宗和代宗时期，委派由度支转运使第五琦和刘晏两位理财家，先后对食盐的产、运、销进行重大的改革，广开财



源，资生致富，“国用充足，而民不困”[85]，“大历末，计一岁所入总一千二百万缗，而盐利居其大半”[86]。达到了唐代历史最高水平，满足了军国急需，为平定“安史之乱”，对唐朝经济的复苏、中央政局的稳定，起了积极的作用。

唐末，盐法紊乱，盐价日增，“以谷数斗，易盐一升”[87]，百姓买不起昂贵的官盐，只得去买盐价便宜的私盐[88]，于是，全国各地私盐盛行。唐政府为了保证对盐利的垄断，制定严酷的盐法，“私盐死囚”。残酷的镇压并没有消灭盐贩的走私，相反，私盐贩越来越多，力量越来越大，他们组织武装携带武器护运私盐，公开与唐王朝相对抗。其中，私盐贩的首领，就有黄巢和王仙芝。黄巢，曹州冤句（今山东菏泽）人。出身盐商家庭，早与王仙芝同贩私盐。他们以贩卖私盐积蓄力量，从而发展成为唐末大规模的农民起义。黄巢领导的农民大起义，历时长达十年之久，沉重地打击和动摇了当时的封建统治，自此，唐王朝名存实亡。史称：王室日卑，号令不出国门[89]。唐朝后期，藩镇割据，盐产基地大部分都被藩镇占领了，盐利也多被截留。各地藩镇倚仗盐利，扩充势力，兴兵拥武，形成独立王国，同中央分庭抗礼。于是，唐政府盐利入库大大减少，财政亏空，国势衰落。尤其经过唐末黄巢起义风暴的打击，唐王朝已完全崩溃，只剩一个空壳，最终被把持河中两池盐利的最大藩镇朱全忠灭亡，从此，结束了唐王朝的封建统治。

宋代推行的“折中”法，借以控制食盐的生产和专卖特权，为着政治、军事服务。宋王朝为保卫边疆不遭外来的侵犯和国家的安全，在沿边驻守重兵防范。当时，为了解决边寨军需的困难，令盐商向边军输送粮草或其他物资，按里程远近计价。然后发给盐引（即领取盐的凭证）到指定的生产盐场领盐贩卖，名曰“折中”。明代实行的“开中”法，仍是宋元以来召商输于边，以济军粮的继承。史称“召商输粮给以盐引，谓之开中”。[90]“开中”法的实施，对于国家保障边储和军需有着积极的意义：“以佐军兴，又国家所称大便。”[91]因此，无论“折中”盐法，或是“开中”盐法，说到底，还是为巩固封建政权服务的。

军队是国家政权的重要标志。盐在军事方面的功用，还突出地表现于盐利作为军费支持战争。1644 年，清军入关后，福临定都北京，建立清王朝。这时，因战乱的破坏，社会经济残破不堪，全国还未统一，政权尚不巩固，为此，清廷认为，盐业攸关国计民生的大事，关系军国急需。于是，清政府采取各种举措，以积极恢复和发展盐业，同时，盐课也大增，如顺治初年盐课仅有五十六万银两，到康熙二十四年（1685 年）增至二百七十六余银两，至乾隆十八年（1753 年），达到七百零一万银两有奇[92]。清初，盐业初步的复兴和发展，丰厚的盐利充裕国库，有力地支持了全国统一大业——平定“三藩”①、平息准噶尔叛乱、收复台湾以及抗击沙俄的入侵，稳定了清王朝政权。

清咸丰三年（1853 年），太平天国革命的风暴，席卷神州大江南北，农民政权定都南京（改名天京），同北京清政权对峙。于是，清王朝大为震惊，惊慌失措，急忙乞求外国侵略者的积极支持，并组织和调动大军联合血腥镇压农民军，加之太平天国领导集团的错误，最终导致了这场大规模的农民起义失败。清王朝调动大军

① “三藩”：系指清平西王吴三桂、平南王尚之信、靖南王耿精忠。





进攻和围剿太平天国运动，先后长达 14 年，所耗庞大的军费开支，其中包括征收的盐税在内，当时，任两江总督、湘军统帅，为清王朝镇压太平军立下汗马功的“一等毅勇侯”曾国藩在《曾国藩家书》中云：“盐务充饷是一大好事。”[93]“凡邻盐入我淮引地面，每斤取钱十文”[93]，“淮北票盐、课盐两项，每岁共得八十万串，拟概供第一军。”[93]当然，家书中提供这方面佐证，不是全部盐利供给军费，而是盐税的一部分，即可见一斑。

在此，还需顺便提及一下所谓“善后大借款合同”。辛亥革命后，窃国大盗袁世凯篡夺了革命成果，为了镇压革命，复辟帝制，他公然拜倒在帝国主义列强面前，不惜出卖中国主权，以换取外国侵略者在政治上和经济上的支持。1913 年 4 月 26 日，袁世凯指令亲信财政总长周学熙等，与英、法、德、日、俄五国银行财团签订了总额 2 500 万英镑（折计中国银元 28 000 万元）的“善后大借款合同”，名为“中国政府 1913 年善后五厘金币借款”[94]。这笔借款，即以中国盐务全部收入作为担保，抵押一种债务。从此，中国全部盐利落入帝国主义列强手中，即臭名昭著的“善后大借款合同”。

总之，盐在人类社会中几乎具有万能的功用，但归纳起来，主要有四：一是盐乃百味之祖，盐及盐衍化而成各类食物，为人们生活和生存不可缺少的必需品；二是在史前时期，部群的聚居和分布，围绕着盐池或盐泉或岩盐等产地，为此，盐与人类发展和史前文明有密切关系；三是盐利是历代封建王朝取之不尽的财源，成为国家财政的重要支柱；四是在人类进入阶级社会，尤其是进入封建社会以后，盐及盐业是涉及军事、政治、政权更替、国家兴衰的一个重要因素。为此，盐在人类社会中占有重要的地位和作用。



# 参考文献


[1] 刘德林，周志征：《中国古代井盐工具研究·前言》，山东科学技术出版社，1990 年。

[2] 申力生：《中国石油工业发展史》，第一卷“古代的石油与天然气”，石油工业出版社，1984 年。

[3] 林元雄、宋良曦、钟长永等：《中国井盐科技史·导论》，四川科学技术出版社，1987 年。

[4] 徐中舒：《古井杂谈》，载《井盐史通讯》，1977 年第 1 期。

[5] 苏轼：《东坡志林》卷四（“学津讨原”本）；又，《苏文忠公海外集》卷十五（康熙年间，江都樊氏得树轩刊本）；《苏文忠公全集》卷七三等。

[6]（前苏联）伏·尔·米海洛夫著，张焱译：《油井钻凿读本》，石油工业出版社，1954 年。

[7]（美）Z. G. 多依奇（Zola G. Deutsch）著，彭久松译：《探索者的足迹》载《井盐史通讯》，1983 年第 1 期。

[8]（宋）陆游：《老学庵笔记》卷五。

[9] 王云五主编：《苏东坡集》，第二册卷四，商务印书馆发行，民国十九年版。

[10] 吴炜等：《四川盐政史》卷二。

[11] 王海潜译：《苏联盐业史简介》，载《井盐史通讯》，1983 年第 1 期。

[12]（前苏联）库里奇辛等著：《钻探工程·上册》，中国重工业部设计司翻译科译，中国燃料工业出版社，1953 年。

[13]（前苏联）阿日吉烈等：《矿产普查勘探方法》，王立文等译，中国地质出版社，1957 年。

[14]（明）马骥：《盐井图说》。

[15]（清）李榕：《自流井记》。

[16]（清）丁宝桢主编：《四川盐法志》卷三及（清）“双全井岩口簿”等。

[17]（清）严如煜：《三省边防备览》卷十，清道光八年（1828 年刻本）。

[18]（清）范声山：《花笑庼杂笔》卷一，清道光二十四年（1844 年刻本）。

[19] 罗筱元：《自流井王三畏堂兴亡纪要》，刊《自贡文史资料选辑·第一辑》。

[20] 郑季怀：《燊（兴）海井调查报告》，1983 年 9 月。

[21] 井矿盐科技情报站编译：《国外井矿盐技术经济资料·采矿采卤部分》，1974 年 10 月。

[22] 联合国教科文组织：《博物馆》，1980 年第 4 期。

[23]《宋史》卷一八三。

[24]（宋）李焘：《续资治通鉴长编》卷八。





[25]（清）《四川盐法志》卷一六。
[26] 吴炜等：《四川盐政史》卷一。
[27]（宋）释文莹：《玉壶清话》卷三。
[28]（明）熊相纂修：《四川志》卷二五。
[29]（清）《南部县志》卷六“食货志”。
[30] 胡砺善：《四川自流井构造天然气开采的研究》，石油工业出版社，1957 年。
[31] 邓玉昆：《顿钻技术浅谈》（第一届井盐史学会论文），1981 年。
[32] 聂成勋：《自流井构造盐、卤的开发状态及合理开发方案探讨》（自贡盐业矿山开发史研究报告），1978 年。
[33]（汉）宋衷注，张澍稡补注：《世本》卷一“作篇”，商务印书馆，民国二十六年。
[34] 卢本珊等：《铜岭商周矿用桔槔与滑车及其使用方式》，载《中国科技史料》，1996 年第 2 期；卢本珊等：《铜岭商周矿用桔槔与滑车及其使用方法研究》，载江西省文物考古研究所等撰：《铜岭古铜矿遗址发现与研究》，江西科学技术出版社，1997 年。
[35]（宋）李昉等辑：《太平御览》卷八二九。
[36] 王云五主编：《苏东坡集》，第五册卷一，商务印书馆发行，民国十九年。
[37] 刘志远：《四川汉代画像砖艺术》，中国古典艺术出版社，1958 年版。
[38] 彭久松：《“筒井用水鞴法”解》，刊《井盐史通讯》，1985 年第 2 期。
[39] 刘德林：《“泥孩儿”考》，载《四川文物》季刊，1987 年第 4 期。
[40]（英）李约瑟：《中国与西方在科学史上的交往》，载潘吉星主编：《李约瑟文集》，辽宁科学技术出版社，1986 年。
[41]（美）W·W·波迪著，王海潜译：《无可疑的文明》，载《井盐史通讯》，1978 年第 1 期。
[42]（英）李约瑟：《科学与中国对世界的影响》，载道森主编：《中国之遗产》，1964 年。
[43]（美）作家及科技史专家罗伯特·K·G·坦普尔编著，陈养正等译：《中国：发明与发现的国度——中国科学技术史精华》，21 世纪出版社，1995 年。
[44]（英）李约瑟：《中国科学技术史——编写计划的缘起、进展与现状》，载《中华文史论丛》，1982 年第 1 辑。
[45] 王群等：《井盐史陈列和西秦会馆建筑艺术受到称赞》，载《井盐史通讯》，1985 年第 2 期。
[46]（英）李约瑟：《中国科学技术史》，第一卷，第一分册，第一章“序言”，科学出版社，1975 年。
[47] 李吟秋：《凿井工程》，国立研究院出版部，民国二十年。
[48] 张学君：《南方丝绸之路上的食盐贸易》，载《盐业史研究》，1995 年第



4 期；大型画册《中国西南丝绸之路》，云南民族出版社，1992 年。
[49]（元）王礼：《麟原文集》卷六。
[50] 李培浩：《中国古代史纲》（下），北京大学出版社，1985 年。
[51]（宋）文同：《丹渊集》卷三四。
[52] 梁初鸿等主编：《华侨华人史研究集》（二），海洋出版社，1989 年。
[53]（德）汉斯·乌尔利希·福格尔（Hans-Ulrich Vo-gel）：《中国钻井技术传播到西方的真相和争议》，载彭泽益等编：《中国盐业史国际学术研讨会·论文集》，四川人民出版社，1991 年。
[54]（美）罗伯特·P·墨尔索夫著，梁鹰译：《世界古代钻凿技术及其作用》，载《盐业史研究》，1993 年第 4 期。
[55]（美）弗吉尔·哈特：《自流井考察记》，载《盐业史研究》，1991 年第 4 期。
[56]（清）吴鼎立：《自流井风物名实说》。
[57]（德）W·康拉德等，周忠德等编译：《科学发现与发明辞典》，知识出版社，1987 年。
[58]（美）D·Berger 等著：Modernpetroleum Absicprimet of the lndus-dry，第 69 页。
[59] 中国工程院士刘广志：《论科学钻探》，原地质矿产部探矿工程研究所，1995 年。
[60] 原石油部副部长，总地质师闵豫：参观自贡盐业历史博物馆后签下的“留言”，1985 年 8 月 12 日。
[61] 周国荣编：《中国钻探发展史》，地质出版社，1982 年。
[62] 马宗瑶等：《井矿盐地质基础与开采工艺》，全国井矿盐工业科技情报站，1992 年。
[63] 徐朝鑫：《银白色的路》，四川大学出版社，1993 年。
[64]（东汉）班固：《汉书》卷二四“食货志”。
[65]（晋）陈寿：《三国志·卫凯传》。
[66] 宋良曦：《中国盐与食文化》，载《盐业史研究》，1996 年第 4 期。
[67]《管子》卷二三“地数”篇。
[68]《管子》卷二三“轻重甲”篇。
[69] 钟广言：《〈天工开物·作咸〉注释》，广东人民出版社，1976 年。
[70] 顾文栋：《从清末到民国时期贵州盐税及其盐价变动的剖析》，载《盐业史研究》，1995 年第 1 期。
[71] 钟长永：《盐与云南的民俗风情》，载《盐业史研究》，1997 年第 2 期。
[72]《马可·波罗游记》第四十七章“云南省”条。
[73]《云南图经志》卷五“丽江府”，明景泰六年（1455 年）修志。
[74] 宋良曦：《盐业历史的文化踪迹》，载彭泽益等编：《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991 年。
[75]《盐铁论·非鞅》，引《桑弘羊议》。





[76] 彭泽益：《盐业与盐业史研究》，载《盐业史研究》，1996 年第 1 期。
[77]（宋）李心传：《建炎以来朝野杂记》，“甲集”卷一四。
[78]（宋）李心传：《建炎以来朝野杂记》，“甲集”卷一七。
[79]（清）《四川盐法志》卷四○“纪事下”。
[80] 杜凌云等：《四川自流井盐税的掠夺战》，载《自贡文史资料选辑》，第五辑。
[81] 谷雨：《盐与考古学文化及其遗址的关系》，载《盐业史研究》，1990 年第 1 期。
[82] 柴继光：《运城盐池与河东文化》，载《盐业史研究》，1990 年第 1 期；另见上（本章）[81] 文献。
[83] 郭沫若：《希望有更多的古代铁器出土》，载《郭沫若全集历史编》第三卷。
[84]《汉书》卷九九“王莽传”。
[85]（宋）司马光：《资治通鉴》卷二二六。
[86]（宋）司马光：《资治通鉴》卷二二五。
[87]《唐大诏令集》卷一一二“减盐铁价敕”。
[88]（宋）王钦若等编：《册府元龟》卷四七四。
[89]（宋）司马光：《资治通鉴》卷二五九。
[90]《明史·食货志四》；又《续文献通考》卷二○。
[91]《皇朝经世文编》卷四三一“盐政考”。
[92]《清史稿》卷一二三“食货志四·盐法”。
[93]《曾国藩家书》（上），北京燕山出版社，1994 年。
[94] 吴炜等编：《四川盐政史》卷九。



# 第二章
## 盐泉时期（新石器时代晚期——秦代）

四川是中国井盐的发祥地，而川东（三峡地区）的泉盐又是四川盐业的先声。为此，川东盐业在中国井盐和川盐史上占据重要的地位。

然而，过去（在20世纪80年代中期以前）对川盐史的研究和论著多取材于川南、川西及川北盐史。关于川东盐业，因盐史远古（先秦时期），史料匮乏，却留下了空白。

自贡盐业历史博物馆，为了了解和研究川东盐业史，于1985年、1987年及1994年相继三次组队赴川东盐区考察，先后搜集了较为丰富的实物、古籍、图片、摄像、口碑等资料，这些宝贵资料，既丰富了馆藏，又为盐史研究和展厅陈列拓宽了新的领域。

川东古老的盐区及盐业生产现场，大多位于长江沿岸河谷低洼地带。20世纪90年代初，举世闻名的三峡大电站开工兴建，自1997年始，一场大规模抢救、保护库区淹没线以下的珍贵文物全面展开，其中盐业考古引人注目。考古工作者在三峡地区已发掘和出土了多处先秦时期盐业遗址，发掘工作获得了重大发现，取得了令人瞩目的成绩[1]。盐业历史博物馆的研究和编辑人员，为及时反映这一重大成果，并在考古专家的支持和配合下，于2003年出版了《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，这是盐史研究领域中新的突破。

### 第一节　川东自然盐泉的成因

虽然川东三峡地区各处盐泉出露的新老地层有差异，构造位置有高低，但是研究其成因，主要是地质条件及地理环境具有类似的特点。为此，我们以中县中坝盐泉为例来说明之。

曾先龙先生认为忠县中坝盐区，在地质构造中，岩盐主要产于大池干背斜（高峰海拔1 000米以上）三叠系巴东组和嘉陵江组。由于岩盐埋藏在背斜翼部位置高地，㽏（干）溪河又将大池干背斜拦腰横切，且处于低谷地区，于是，岩盐被地下水溶解后，就会自动从岩缝中流出地表，如遇上连绵大雨，还会形成盐泉瀑布。当盐泉自然从山岩裂缝里流出，在地面形成奇异景观，很容易被原始人类发现和利用[2]。由此得出，中坝盐泉的成因主要有三点：

#### 一、盐卤资源十分丰富

根据地质部门勘察：“云阳、万县一带，为一巨大盐盆，埋深3 000米左右，

于万县复向斜之中。盐盆大致呈北东—南西展布。西南端起于忠县拔山寺以南，东北端止于云阳以西……延绵长度近100千米，宽20～30千米，盐体展布面积2 700平方千米……岩盐地质远景储量为1 500～1 600亿吨。”[3] 由于忠县大池干背斜（包括中坝盐泉出露地区）正位于万县大盐盆内，所以，该背斜地下埋藏盐卤资源极为丰富，这是盐泉成因最基本的条件。

**二、𣵀（干）溪河切割岩石十分厉害**

沟谷深300～500米①，形成幽深河谷地带。常常在深谷河区域，尤其是河流两岸，恰是盐泉的出露处。

同样，在𣵀（干）溪河的东面，另一条支流名叫涂溪河（又名汝溪河），沿着两岸盐泉密集分布：由于涂溪河下游段“河流的落差很大，在700余米的地段内，海拔标高由上端162米，降至上端140米，落差竟达22米，所以峡谷全由叠水、冲沟、急流组成……在卤水成因相同的地质、地理条件下，峡谷地段因地表岩层被河流切割，岩石的裂缝容易暴露在河床两岸，卤水从河床两岸顺裂缝流出，形成露头泉，并呈群体分布”[4]。三峡地区（包括涂、𣵀二溪）的盐泉成因，与河流切割河床岸石形成深谷是紧密相连的。

**三、地层裂隙十分发育**

从地下到地面形成良好的通道，地下卤水在地层压力的驱动下，自动从地下岩石裂缝通道涌出地面，成为天然盐泉，如遇滂沱大雨，形成地面盐泉瀑布奇观。可见，忠县𣵀（干）、涂二溪，地下岩石裂缝之发育。自然盐泉形成后，在自然界里静静地淌流了“数千万年”[5]，盐卤资源流失巨大。据调查测算，仅万州及附近地区，“每年流失的岩盐资源约有30万吨之多”[6]。

川东地区的自然盐泉，具有从地下多处流出地面的独特地质条件和地理环境。一般从河谷或山麓涌出。其特点：一是埋藏浅；二是卤水淡。比如，巫溪县的大宁盐泉、彭水县的伏牛山泉及忠县的𣵀（干）、涂二溪盐泉等就是典型例证。于是，川东地区自然也就成了开发盐业的发祥地。在有信井盐史记载之前，还有一段被尘封而鲜为人知的自然盐泉的开发和利用史即先秦时期川东地区自然盐泉的开发和利用史——它既是一部川东地区先民的生产、生活史，也是一部四川盐业的幼年史[7]。

## 第二节　远古川东地区自然盐泉的发现和利用

本节内容包括四个方面：其一，川东盐业的起源；其二，远古三峡两大巫国与盐泉；其三，关于川东盐泉最早发现于何时的说法；其四，新石器时代晚期的泉盐生产。现分述于后。

**一、川东盐业的起源**

**——井盐说和泉盐说**

川东忠县中坝等盐业遗址考古证明，至迟，三峡先民于商代（上限可推至新

① 大池干背斜海拔高度1 000米以上，被𣵀（干）溪河拦腰横切，于是河谷最深在500米左右。



石器晚期）到秦代①，已使用陶器煎制食盐了。那么，这是属于何种盐呢？目前，在学术界主要有两种不同意见：

第一种“井盐说”。孙华先生提出“井盐起源渝东说”，并根据“盐矿资源状况，有关盐的史料记载，还有古代盐业遗址的现状来看，认为四川盆地井盐至迟在商代就开始于渝东地区，秦灭巴以后才发展到成都平原的边缘，这应当是可以初步肯定的一个结论”[8]。又，李小波先生根据三峡库区盐业考古成果，结合对古盐井的考察研究后，则认为渝东长江流域地区是井盐开发最早的区域[9]。

第二种“泉盐说”。程龙刚先生认为“三峡地区，盐泉资源得天独厚，泉盐（以泉卤制成的盐——本书作者注）生产历史悠久……远在旧石器时代就已经发现和利用盐泉了，迨至新石器时代早期，随着陶器的出现即开始了原始的泉盐生产。”[10]还有任乃强先生在《说盐》一文中云：上古盐的种类和产地有“东南之海盐，西南之泉，西北之池盐与岩盐、与土盐（煮土为盐）”[11]。其中，西南产盐以“泉盐”著称。其实，西南三省（指云南、贵州及四川），在历史上，贵州基本上不产盐，民众用盐依仗川盐或池盐供给。虽然云南历史上不产盐，但是，泉卤采集和泉盐生产源于西汉初（公元前109年）[12]。先秦时期，四川（主要是川东）三峡地区产的盐，古称“巫盐”“巴盐”，即“泉盐”，则是“西南之泉盐”的重要产地。

故此，孙先生等提出四川盐业最早源于“渝东地区”即川东产盐早于川西是符合历史实际的，但是，这种盐不是“井盐”，而是“泉盐”。

## 二、远古三峡两大巫国与盐泉

由于大自然的恩惠，给人类社会送来了丰富的盐卤财宝。因此，远古两大巫国在三峡地区聚居、兴起、建国的根源，乃是与这里有众多的自然盐泉和丰厚的盐利分不开的。

### （一）巫咸国与大宁盐泉

据白九江先生考：三峡“在远古的时候，巴人还没有立国，大巫山地区则分布着很多这样的小‘巫’国，其中的两个‘国家’② 比较有名。……一是巫咸国。这个国家与大巫师巫咸③同名或许说明她是由巫咸创立的。……巫咸国的中心位置就在‘登葆山’一带”[6]。所谓“登葆山”，即今川东著名的“宝源山”。宝山又

---

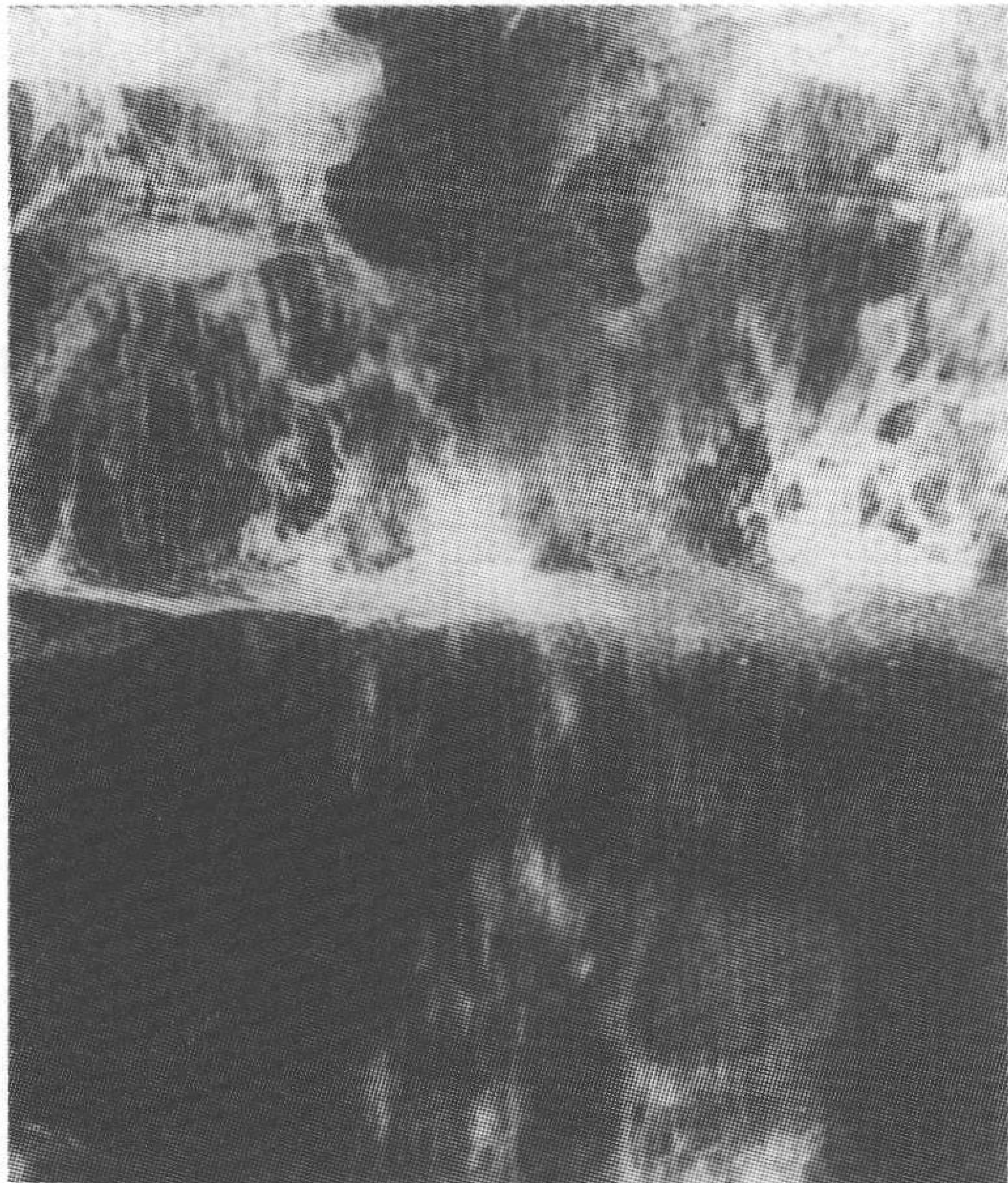
① 三峡盐业遗址时代，从下至上依次为：新石器、夏、商、西周、春秋、战国、秦、汉、南朝、唐、宋和明、清各朝代都有。根据本文的需要，只用新石器晚期到春秋战国（至秦代）这一段。（下见孙华：《渝东史前制盐工业初探——以史前时期制盐陶器为研究角度》，载《盐业史研究》，2004年第1期；又见陈伯桢：《由早期陶器制盐遗址与遗物的共同特性看渝东早期盐业生产》；再见孙智彬：《忠县中坝遗址的性质——盐业生产的思考与探索》及曾先龙：《中坝遗址在三峡库区盐业考古中的地位》，后三者文同载《盐业史研究，巴渝盐业专辑》，2003年第1期。）

② 不是真正的国家，可能是一个部落群或部族组成的联盟。

③ 白九江先生考释：巫咸是夏商时候有名的大巫师，即当时有名的知识分子，或称人类灵魂的工程师。据说曾当大夫一类的官职，巫咸管理商代的王事颇有成就，且使商朝中兴。巫咸是巫族的祖先，后来被尊崇为巫师集团的宗师（见白九江：《巴人寻根》，重庆出版社，2007年）。

又，阿波先生考析：“巫咸不是一个人，而是好几个事‘巫’的‘臣’。从炎帝起，到黄帝、唐尧，甚至商周时都有‘巫咸’。历来学者不知其何时人……今之学者倾向巫咸黄帝时人。”（见阿波：《上古巫咸国考析》，载《盐业史研究》，1991年第一期）

是川东巨泉——大宁盐泉的发源地，这说明，巫咸国的建立，是与大宁盐泉密切相关的，由此而得名。1985 年，本书作者在此考察时，看到大宁盐厂生产制盐灶房等设施已经停废，但灶房附近的大宁盐泉仍从宝山半腰石硐里向外不断涌出（见图 2－1）。这口大型盐泉，从古至今，几千年来，为人类社会作出了重大的贡献，如今，已完成了它的历史使命。



**巫溪县大宁盐泉**

**图 2－1　采自：白九江《巴人寻根》**

又据阿波先生考：“‘巫咸国’是上古母系制社会的一个群部。其地理位置大致在著名的‘三峡高地’……（即）今川东大宁河地区。‘三峡高地’古往今来都盛产盐巴，而上古之‘巫咸国’又恰在那里。”由此认为“巫咸国是上古盐业生产较为发达的部落。”其年代，“巫咸国是神农时代早期的部落”。应“早于黄帝”[13]。

上述“登葆山（又名宝源山）”是大宁盐泉的发源地，位于大宁河流域北岸。“三峡高地”古往今来盛产食盐，位于大宁河地区。二者可能是同一个地区，只是名称不同而已。这里因有盐泉，且以泉卤制盐（泉盐），于是成为巫咸国生存的基地。

（二）巫载（至）国因盐而富

白九江先生认为，三峡“另一个国家是巫载国。它的分布地在今重庆市巫溪县、巫山县一带。历史学家任乃强先生认为，巫载国位于瞿塘东口与巫峡西口的宽阔地带，并与大溪河谷和大宁河谷紧紧相连”。巫载国的历史亦久远，据说是舜帝的儿子“无淫”在这里“创建的巫载国”[6]。

依现在的地理位置看，巫咸国是以宝源山盐泉为中心地区；而巫载国则位于瞿塘峡、巫峡一带，大宁河从正北至南穿越两国境内，实属北南两大巫国。可能是两国信仰有别，或因盐利的诱惑又加之地理相邻。“是两个世仇的敌国，并且前者被后者



所灭。”[6]

大宁盐泉位于宝山半腰，宁河北岸，河流两岸悬岩绝壁，可耕地甚少，古称“不毛之地”，即“不耕不织”“不稼不穑”的荒野。但是，巫民控制盐泉，并以泉卤煎盐，然后以盐作商品，对外与周围广大部群交换谷物、布帛等生活物质来源，于是，这里变成了天堂，不耕不稼而有充裕的服食，为百谷所聚、丰衣足食的极乐之国[11]。

## 三、关于川东盐泉最早发现于何时的说法

关于川东盐泉最早发现于何时？起源于何地？专家、学者议论颇多，说法各异。这里择其重点，供读者参考，现简述如下：

任乃强先生《说盐》一文中云：“巫山县北之宝源山盐泉，自古至今，从未衰减。地距大溪沟（文化——本书作者注），一水相通，不过二百里。由此可知，此间之原始人群，得盐之易，用盐之早，与腌鱼殉葬之必然。”[11]以此测算：宝山盐泉发现和利用应在距今5 000～6 000年。

1980年，四川大学《学报从刊》第五辑载道：距今“6 000～7 000年前的母系氏族社会”，川东云阳、大宁、忠县等就是氏族酋长或部落首领经营盐业的地区。

白九江先生《巴人寻根》一书中说：“距今6 000年前后”，大溪人生前爱食用鱼，死后用鱼加盐防腐作葬品，由此“判断就是那时的人们已经懂得开采并利用三峡地区丰富的盐矿、盐泉了”[6]。因之，距今6 000年左右，大溪人已在三峡地区发现和利用盐泉了。

程龙刚先生《关于三峡地区盐业生产源起的思考》一文中认为：“根据三峡地区独特的自然环境和早期人类活动的特点，远古峡民早在旧石器时代就已接触、发现盐泉。三峡两侧，尤其是长江南岸万州盐井沟至湖北建始一带，喀斯特溶洞星罗棋布，有的洞穴内盐泉汩汩淌出。”同文又说：“新石器时代早期，随着峡民活动场所的改变，大量从洞穴、山麓、溪河旁出露地表的盐泉渐次被发现，为盐业生产提供了极其丰富而重要的原料。”据此推测：“三峡先民早在7 000～8 000年前”[10]，开始采集泉卤，利用陶器生产泉盐了。

任桂园先生《远古时期三峡盐业资源与移民文化述论》一文中认为：“最负盛名的渝东盐泉，当首数位于今巫溪县宁厂古镇的宝源山白鹿盐泉，此处自洪荒远古迄至现今，天然盐泉一直涌流不绝。若要追述该处盐泉的初始开发史，我们至迟可向前推至距今4100年的新石器时代晚期。”[14]

## 四、新石器时代晚期的泉盐生产

### ——从新石器晚期的制盐陶器缸看这一时期的泉盐生产

曾先龙先生在忠县中坝盐业遗址考古后认为新石器时代晚期的主要器物“有缸、罐、盘口器、盘口罐4类。其中的缸，是这一时期最具特色的器物”[15]。孙智彬先生对中坝盐业遗址的研究和考证认定“敞口深腹尖底缸是我们在新石器时代晚期发现的主要器物。这类器物出土的数量非常多，都以夹粗砂红褐陶为主，器外壁饰绳纹，唇部多饰纹且痕很深呈花边或锯齿状，底部多呈柱状和尖底。”[1]“该器物口径在40～50厘米，高50～60厘米，底径5～15厘米。”[15]

关于这类器物的用途，外国考古专家认为应属于制盐工业用的陶器。2001 年，法国国产科学研究院布列斯特（Pierre Gouletquer）先生到现场实地参观考察时明确指出，这类器物的底部部分特征，与他在非洲看到的盐业生产工具十分相像[1]。可能是作为制盐生产中使用的“盛器”或“储藏器”[15]。

新石器时代晚期的制盐陶器——缸的出土和考证，说明在新石器时代晚期，川东忠县中坝古时的盐民已经利用泉卤煎制泉盐，供自己用盐，或以盐对外交换粮、帛等生活物质，泉盐成为人类社会一种十分珍贵的商品。

## 第三节　商周时期的盐业生产

——有忠县中坝盐业遗址考古典例可证

商周时期，由于川东盐史记载的缺失，因此，如今要追索、研究这段盐史就十分困惑。幸好，于20 世纪末至21 世纪开初，考古工作者在三峡地区发现和出土了多处盐业遗址，其中尤其是忠县中坝大型盐业遗址的发现和发掘①（见图2－2），是何等的真实又珍贵，它翻开大自然原始记录的盐史档案，从而为弥补商周时期盐史的缺失，确立商周时期盐史的存在，提供了可靠的依据。经中坝遗址发掘考古证明：商周时期的泉盐生产，以盛卤制盐的陶器和升火龙窑的煮盐得以证实。



忠县中坝盐业遗址

图2－2　缪自平实地摄影

### 一、商周时期的制盐陶器

商周时期的制盐陶器，主要有尖底杯和圜底罐两种，现分述如下：

（一）商周制盐的陶角杯

曾先龙先生《中坝遗址在三峡库区盐业考古中的地位》一文中认为：商周时期的典型陶器，有耸肩小平底罐、尖底杯和圜底罐。其中商代的耸肩小平底罐与川西的三星堆小平底罐是一脉相承的。其特点是胎薄，且埋藏量大，出土时相对

① 曾先龙先生认为忠县中坝遗址，乃是三峡库区盐业考古的突破口（在20 世纪50 年代末发现），又是渝东古遗址群中，从下（新石器）到上（明清时期）各时代的遗物堆积非常丰富，且保持连续完好的遗址，基本上没有中断，从而成为今天研究和考证三峡地区古盐业遗址的天然实物档案及最佳的标本。中坝遗址在渝东地区盐业考古中有重要地位，并起着其他遗址不可替代的作用。

中坝遗址：又名羊子岩遗址。遗址主体部分坐落在㽏（干）溪河下游两岸的台地上，其东西最长约 350 米，南北最宽约 140 米，总计面积约 5 万平方米。由于河水长年侵蚀冲刷，该遗址主体部分已脱离河的左岸，沦为河中的一座孤岛，其残存面积约 7 000 平方米，人称“中坎”，故名中坝遗址。遗址中心地理坐标为：东经 108°1′16″，北纬 37°17′14″，海拔 135 米～148 米。地理区位属重庆市忠县㽏（干）井镇佑溪村，距忠县城 6 千米。（见曾先龙先生《中坝遗址在三峡库区盐业考古中的地位》及《中坝龙窑的生产工艺探析》，两文同载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。又见孙智彬先生《忠县中坝遗址的性质》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。）

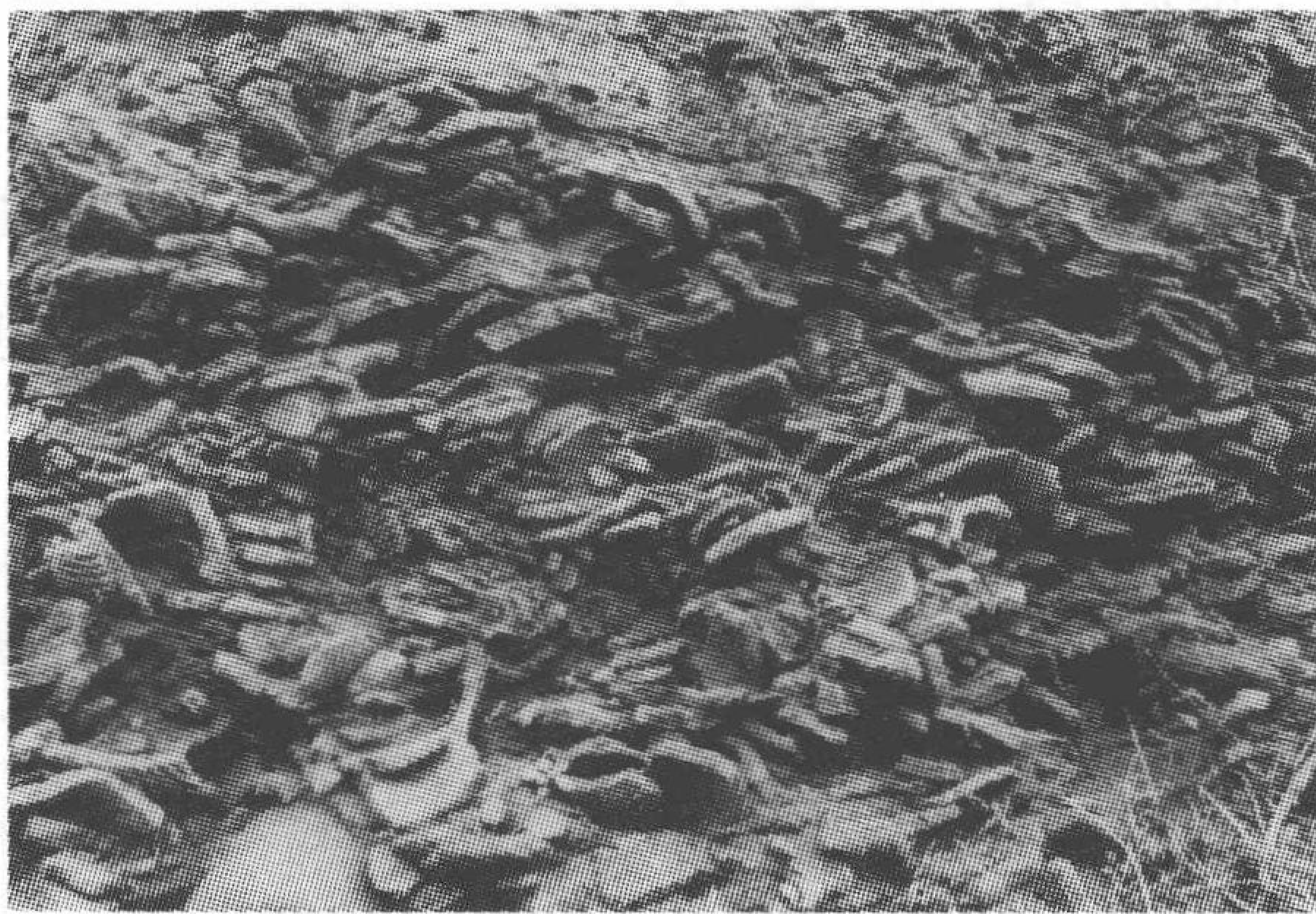
同时我们注意到，孙华先生将中坝遗址时代定在周朝至近代（见孙华先生《四川盆地盐业起源论纲》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期）。



纯净。该器物不是生活用器，而是制盐生产中的“储藏器”。

从商末周初沿用到秦汉的尖底杯和圜底罐，埋藏量之大，堆积之集中，实属罕见。并在同时代地层中，还发现了数座龙窑。龙窑就是用来烧制尖底杯和圜底罐的场地。这两种陶器出土时，伴随夹杂许多木炭渣。表示使用这种陶器时，需用大量的人火。由此推断它们是用火力熬卤制盐的工具。但是，商代耸肩小平底罐和新石器小平底缸，在二者出土时，未见木炭渣。表明使用这种陶器时不用人火，是用来储卤或晒盐的容器[15]。

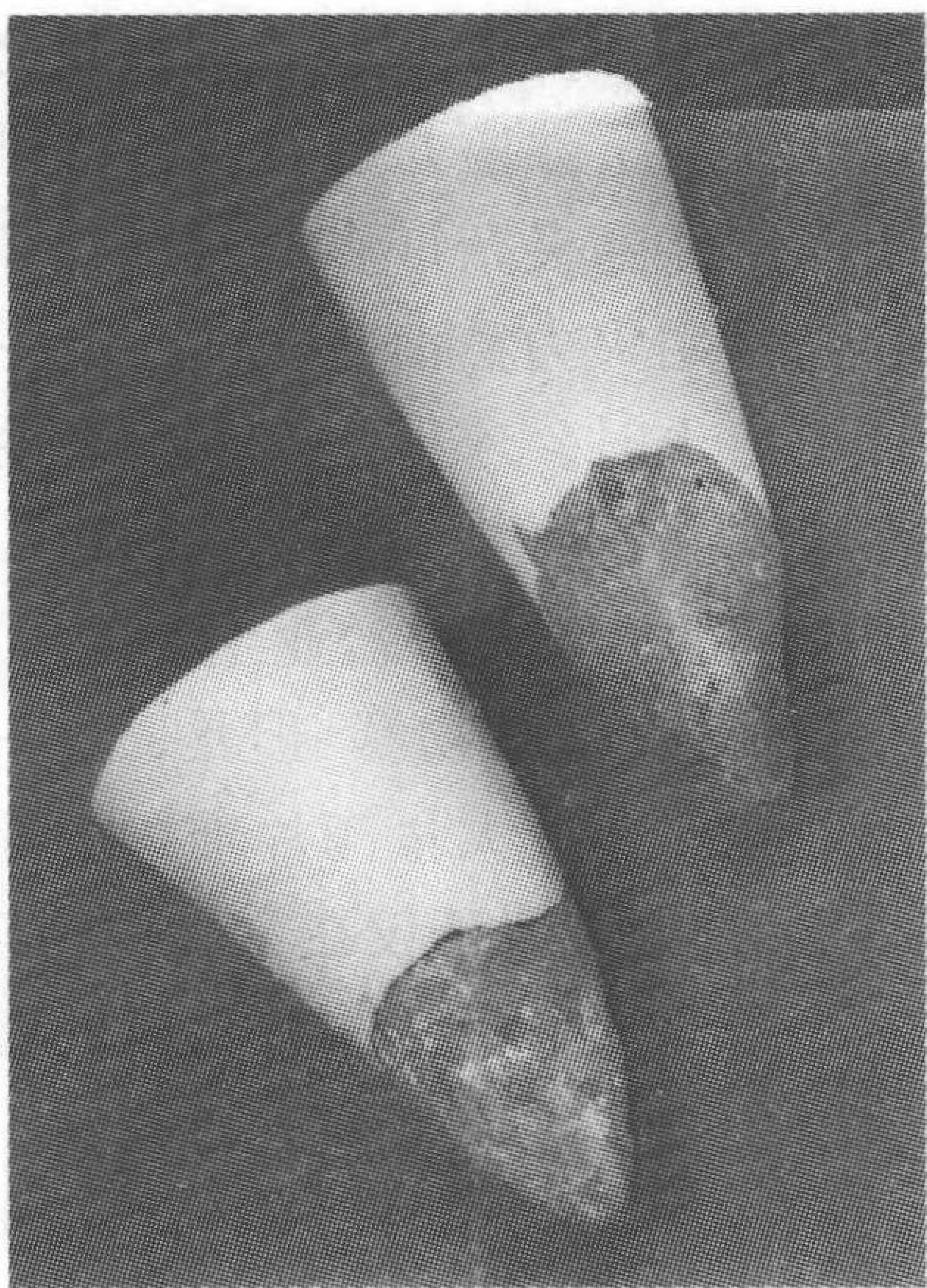
孙智彬先生《忠县中坝遗址的性质——盐业生产的思考与探索》一文中认为：“陶角杯是商至西周早期出土量最大的器物。”但是，这一时期出土的角杯绝大部分为碎片，仅见少量完整的器物。造成大量陶片堆积的原因，与在制盐中一次性使用陶器有关①（见图2－3）。这种现象不仅在本（中坝）遗址是如此，同样在忠县境内的哨棚嘴、瓦渣地、李园等遗址中，亦有大量的陶片堆积。陶角杯主要为泥制素面，多为红、灰色。体量：口径4～5厘米，高度6～14厘米（见图2－4）。“这类器物最先发现时，曾被当作酒器，但现在所知，在世界其他地方常与制盐的过程有关，应该是生产工具类器物。美国阿拉巴马大学人类学系的盐业考古专家巴盐（Dr. Ian Brown）教授，1999年3月到忠县参观考察后，写了《尖底杯——中国中部一种可能用于制盐的器具》的论文，他认为是制作盐块的模子和用来运送时的容器。”[1]



**中坝遗址陶片堆积层**

**图2－3　缪自平实地摄影**

① 造成大量陶片堆积的原因：一是牵涉到盐结晶的特性；二是关系到制盐的技术。如，陶器内卤水结晶成盐后膨胀的效应会脆化或胀裂陶壁；又如，为了将生产的成品盐块取出，也必须将制盐陶罐打破；再如，在非洲尼日尔的制盐法中，由于将未烧过的泥碗盛卤直接架在泥柱上来制盐，在熬盐过程中添加柴火打断泥柱，同时打破制盐泥碗等等各种情况，促成陶器一次性使用，形成大量陶片堆积（见陈伯桢：《由早期陶器制盐遗址与遗物的共同特性看渝东早期盐业生产》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003年第1期）。



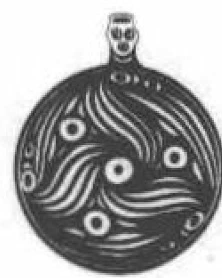
商周制盐的陶角杯
图2－4　缪自平摄影

关于角杯的用途，专家看法各异。孙华先生推测尖底杯的用途是插在土中，利用太阳光自然蒸发浓卤成盐即晒盐。但陈伯桢先生认为，考虑到中坝及瓦渣地遗址伴随尖底杯出土的密集柱洞，同时土壤中发现夹杂有大量的炭渣，说明这些柱洞可能是供尖底杯放置在地上的遗留，或许是直接将尖底杯插在洞中，利用火力蒸发卤水制盐，即火力制盐[16]。本书作者根据川盐发展的历史和制盐生产的特点，认为先民利用太阳能（或风能）蒸发浓卤晒盐及人为火力加热制盐两种方法有可能同时存在。

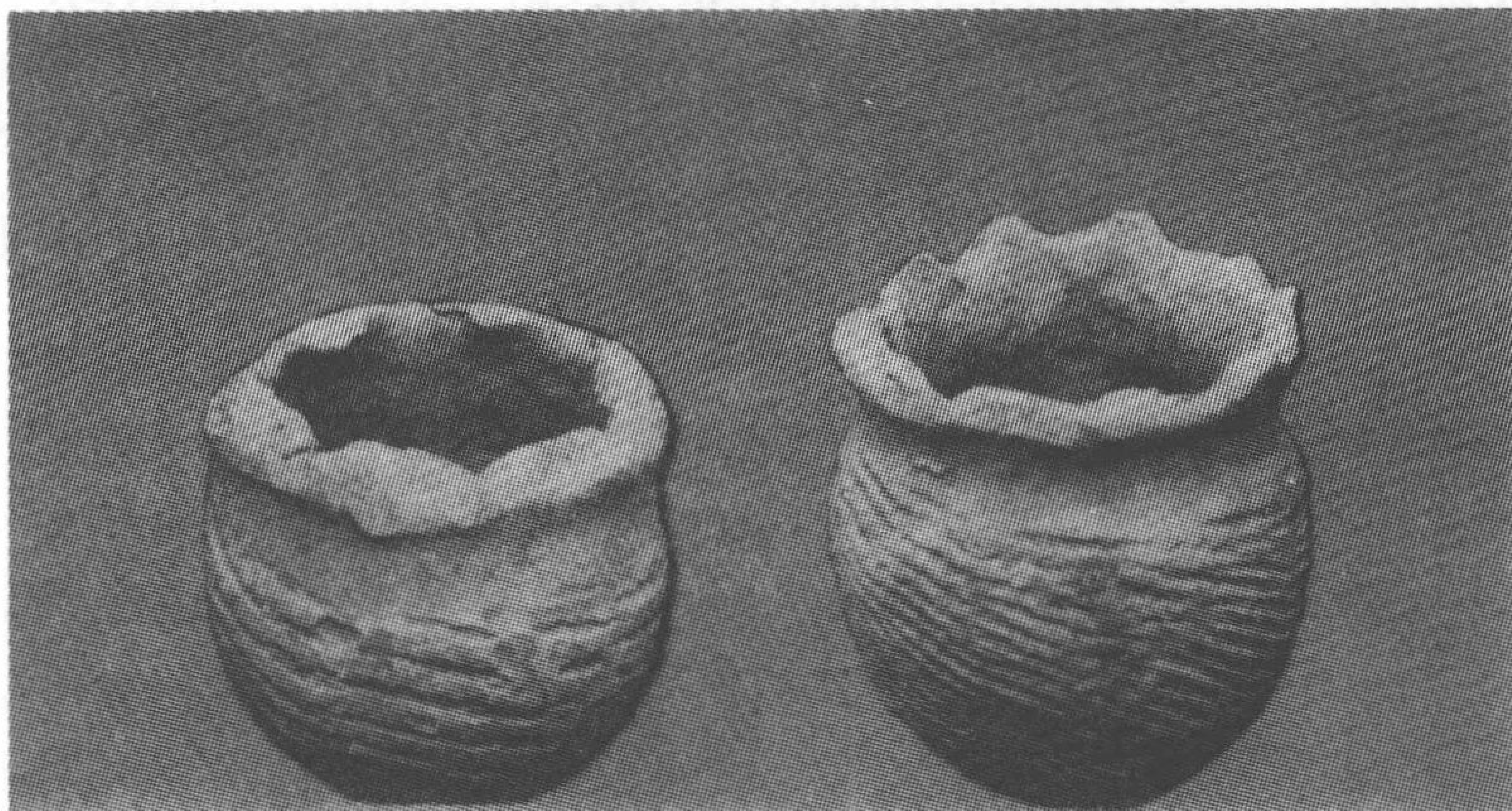
为了探索角杯真实的用途，郑州大学的李峰先生曾做过一个非常有趣的实验："将现在的食盐用水稀释后盛入角杯内，再将其插入当地农民烧柴火做饭后留下的灰烬中，使角杯能轻易保持竖直不倒的状态，大约二三十分钟后，灰烬的余温将水全部蒸发，盐就结晶在角杯壁上，用手指沿杯壁轻轻一刮，盐就撒落下来。"[1] 这个实验，虽然简易，但是很重要，已证实角杯可用于制盐，起码说明它是一种制盐器具没有问题。至于角杯还有什么用途，尚待研究。

（二）制盐陶器圜底罐

圜底罐"最早出现在商代，但此时数量较少。到西周时，数量大量增加。经春秋到战国时，已多到占出土陶器总量的95%、98%以上。……此类器物陶质全是夹砂陶，多为红褐或灰褐色，几乎都饰绳纹。口径多在10多厘米，高约10～20厘米"[1]（见图2－5）。"圜底陶罐或称作'釜'，本来是日常生活中常见的一类炊器。将这种煮饭或烧水的容器用作熬盐，这是很自然的事情。……与制盐有关的圜底陶罐有口沿无花边和带花边的两种。"[17]"公元前1100年以后的尖底杯和圜底



罐，开始了用火煮盐的历史。地层中的这些陶片，出土时往往伴有大量的木炭渣。"[15]由"木炭渣"的发现和存在，证明古盐民"开始了用火煮盐的历史"。



制盐陶器圜底罐

图2－5　缪自平摄影

## 二、中坝龙窑①的特点及其煮盐工艺技术

随着社会的进步和泉盐生产的需要，忠县中坝的古盐民采用龙窑升火煮盐法，促进了盐业的发展，并成为盛于东周至汉的一种制盐技术[2]。为此，龙窑乃是制盐生产设施中重要的组成部分。

### （一）龙窑的缘起及其形制特点

先秦时期主要流行两种窑形，"一种是升焰窑；一种为半倒焰式馒头窑。升焰窑又分横穴窑和竖穴窑两种。横穴窑最早发现于裴里岗，竖穴窑则在仰韶文化的半坡类型中发现，陶窑则出现在浙江上虞的商代遗址中，而龙窑应属于升焰窑的类型"[2]。由此可知，龙窑缘起于升焰窑类型。

川东发现的制盐龙窑，按其形态分为三类：第一类为斜坡底近圆形，如重庆忠县哨棚嘴遗址及瓦渣地遗址的龙窑。这类龙窑盛行于商代至春秋，并从分布状况看，除了在这些陶器遗址发现外，同样在其他普通遗址亦有分布。第二类为平底长方形，如忠县李园遗址的龙窑，多盛于战国至西汉前期。但是，这类龙窑没有在其他遗址中发现。第三类斜坡底长条形，如忠县中坝（羊子岩）遗址的龙窑。其时代，孙华先生定在"战国至西汉前期"（与第二类龙窑同时）[8]。"孙智彬先生将龙窑时代定在东周至汉。"②

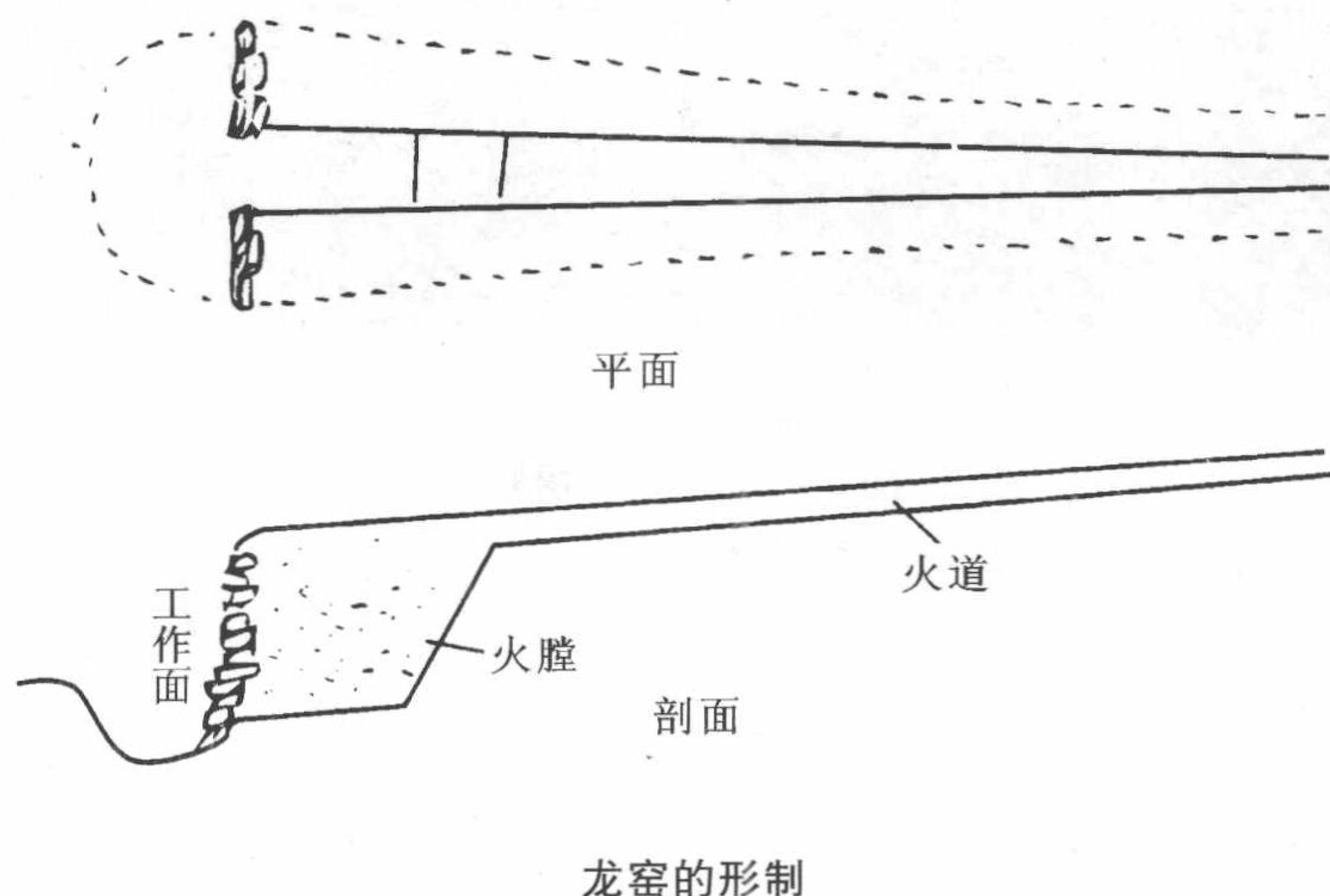
忠县中坝龙窑（实际上是一种灶），呈长条形，依山坡而建，如龙似蛇，亦称蛇窑或蜈蚣窑。煮盐龙窑的发现，使中坝盐业遗址的研究取得了重大突破。

---

① 孙华先生称"窑灶"（见孙华：《四川盆地盐业起源论纲》）。又，曾先龙先生认为："这个形如龙窑的窑灶，实际上是能充分利用热能的一种灶"（见曾先龙《中坝龙窑的生产工艺探析》）。（上述二文同载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003年第1期）。

② 曾先龙《中坝龙窑的生产工艺探析》（载《盐业史研究》，2003年第1期），引孙智彬《试析中坝遗址新石器时代晚期陶器分期》（重庆三峡历史文化研讨会交流论文）云："孙智彬先生将龙窑时代定在东周至汉，并提出它们的用途与制盐有关。"

中坝遗址发现了三座重要龙窑，均在堆积很厚的陶片层上，由此，引发了学术界的争议：一种认为是用来烧制陶器的龙窑；另一种则认为是用来煮盐的龙窑。但多数学者认同后者。这类龙窑形制非常特殊，由工作面、火膛和火道（烟道）三部分组成（见图2－6）。其规格尺度为：火膛宽仅40厘米，深达150厘米，火膛后面依山坡而建。烟道与火膛同宽，长度800厘米，甚至更长。但是，在发掘过程中没有发现窑床，亦没有窑具[2]，那么，陶坯件如何放置？大量的陶器（如圜底罐等）又是怎样烧制出来的？且看如下龙窑的煮盐工艺。



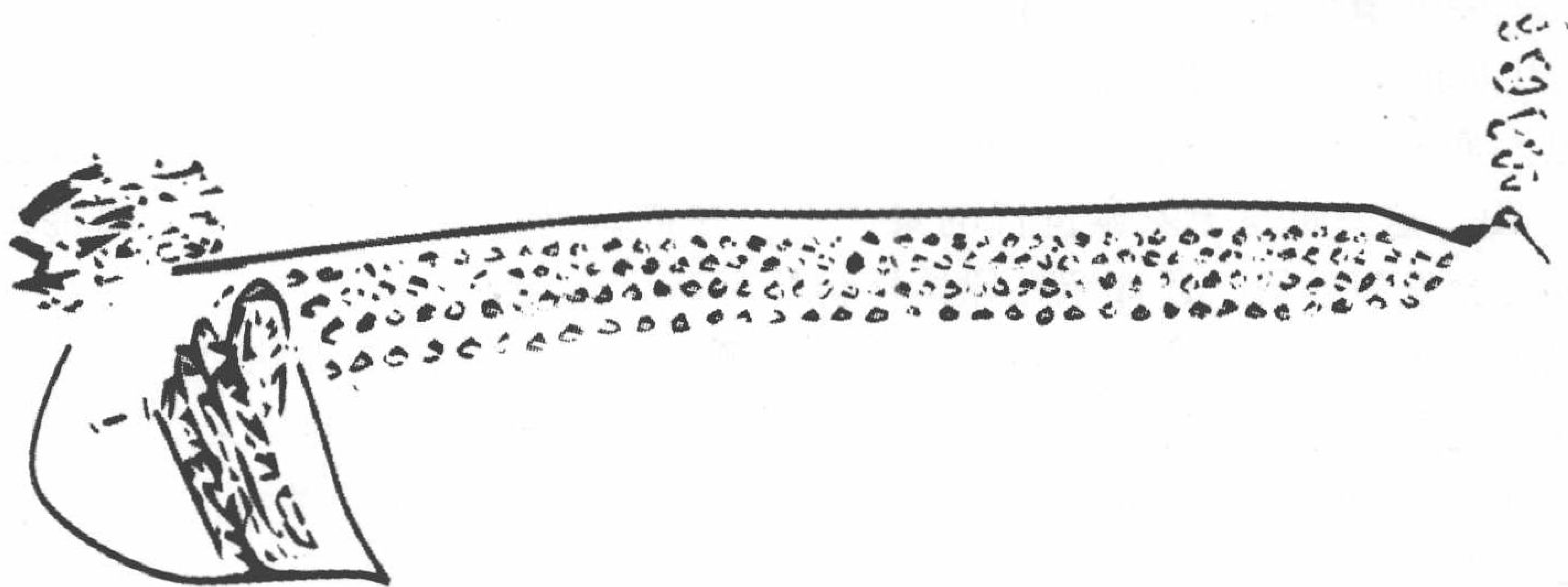

龙窑的形制

图2－6　采自：曾先龙《中坝龙窑的生产工艺探析》

（二）龙窑升火煮盐工艺技术——兼制陶与煮盐工艺比较

关于龙窑煮盐工艺技术：即将龙窑建在倾斜的地坡上，火膛后建一条长烟道（最长达20米），并在火膛和火道（烟道）上留出孔洞，孔洞大小依器物（尖底杯、圜底罐）规格而定。在卷拱两边做成沟槽，用黏土夯实，先点火将龙窑烘干，然后将陶坯件放在窑上先留出的孔洞里，用火烧半小时后（或许时间更长点），将卤水倒入器物内，也可以倒在器物周围及沟槽里，器物以外的卤水（因龙窑升火热能）迅速蒸发结晶成盐，用竹片刮取结晶盐，放入卤池溶化，提高卤水浓度，再将浓卤倒入器物中蒸煮。由于火道很长，且依山坡倾斜而建，火焰的抽力大，升温快，热能利用率高，器物盛满浓卤受热面积大，经实验证明，约40分钟即可结晶成盐。当陶器内卤水结晶成盐后，从孔洞中取出来，再倒出结晶盐，如倒不出来，便敲破陶器取出结晶盐。这种煮盐工艺先进（近、现代称“冰土法”煮盐），成本低，产盐量高，从古沿袭至上个世纪中叶（20世纪50年代），才由制盐新工艺取代（见图2－7）。





龙窑煮盐示意图

图2－7　采自：曾先龙《中坝龙窑的生产工艺探析》

龙窑煮盐工艺流程，是在制陶工艺基础上改进而来的，二者工艺流程对比如下：

制陶工艺：制陶坯（手制或轮制）→晾干→装窑升火烧制→出窑陶成品流通或自己留用，合计4道工序。

煮盐工艺：制陶坯→晾干→陶坯（半成品）装满卤水煮制成盐，合计3道工序。

由以上二者比较便知，龙窑煮盐在制陶的基础上省掉了一个工序。即是“装窑升火烧制”。这样，可将几十个圜底罐叠在一起烧煮，充分利用热能，加速蒸发，既节省了工序流程时间，节省能源，又提高了盐产量[2]。

最后，值得注意的是，任乃强先生认为商周时期的泉盐生产有较大发展。任先生于“1960年余撰”文《说盐》中云：“灵山盐泉，发见（可能有误，应为“现”）虽早，煎煮远销之利，则盛于商代。”同文又说：云安盐泉，“然其采煮远在周代”，其产盐量已超巫山盐泉[11]。由此，商周时期的盐业生产可见一斑。这一观点，与撰文相距约40年后（即20世纪末至21世纪初），考古专家在忠县中坝等盐业遗址中发现和发掘出大量的商周时期制盐陶器（尖底杯、圜底罐等）得到了印证（尽管出土的陶器是在忠县境内，而不在云阳县和巫溪县，但任先生的说法有其合理性）。

## 第四节　春秋战国巴人、楚人及秦人①对三峡地区盐泉的争夺战

春秋战国时期，三峡泉卤是一种稀缺的资源，可它加工成泉盐（巴盐）。泉盐也是一种十分紧俏的、珍贵的、人类生存的商品并成为族部或国家的经济命脉。为此，这必然引起巴人、楚人及秦人对三峡一带盐泉进行激烈的争夺，巴楚之间进行了“数百年”的战争[6]，楚秦之间亦进行了“数十年”的战争[11]，其目的都是为了争夺盐泉和盐利。

① 巴人即巴国人；楚人即楚国人；秦人即秦国人。





## 一、巴人夺取清江盐泉①和控制三峡盐业

### （一）巴人起源及其夺取清盐泉

巴人最早起源于武落钟离山。据考证，此山在湖北清江下游的长阳，今称很（hěn）山。这一带是土家族世代的聚居地，并自认是巴人的后裔[6]。“可能当时巴人的社会发展阶段，还停留在原始社会的后期。”[18]

巴人中出了一位杰出的人物——名叫“廪（lǐn 懔）君”。他执剑武功和驾舟技能比赛超群，成为五姓［即巴、樊、瞫（shěn 审）相、郑］拥戴的英雄。于是，五姓共同立务相为巴人的领袖，尊称“廪君”[6]，廪君被五姓推崇为首领后，全心为大家操劳。为了扩展生存空间，开拓疆域，廪君驾驶自造的土船，率领庞大的五族群队，浩浩荡荡，从清江下游溯源而上，到达清江上游即盐水②的盐阳（今湖北恩施）。廪君为了夺取盐卤资源，与原来居住在这里（盐阳）的“盐女”部落即某个母系氏族的首领展开了激烈的大战，结果打败了“盐女”，赢得了战争的胜利，从而控制了盐阳的盐泉。这是巴人与盐的第一次结缘[6]。从此以后，为巴人进入三峡争夺盐泉、经营盐业奠定了基础。

“盐水”流域，美丽富饶，古称“盐鱼之乡”，是巴人比较理想的生活住所。故此，童恩正先生认为：“巴人早期生活在‘鱼盐所出’的清江上游……（以盐命名的——本书作者注）地名如‘盐水’‘盐阳’等，无不暗示着这一地区产盐的丰富和人民利用盐的情况。”[18]巴人开发利用盐阳等地盐泉——采卤煎盐，经商盐业，或从事渔业，以致富强、兴邦、立国，即“建立了巴王国。这是一个奴隶制国家，是巴人建立的第一个王朝”。其时间“应该在商代早、中期”[16]。

### （二）春秋战国巴人控制三峡盐业

#### 1. 春秋时巴人入驻三峡

——巴人为三峡盐业霸主

白九江先生《巴人寻根》中云：“清江流域是巴人的故乡……巴人从这里走出来，走向长江三峡，走向重庆。”③ 因此，巴人走向了广阔的新天地，拓宽了更大的生存空间。巴人又开始重操旧业，经营并垄断了三峡的盐业，成为三峡盐业的霸主。

关于巴人进入三峡的时代，学术界分歧很大，主要有两种不同意见，一是夏

---

① 清江是三峡以下长江中游南岸古今有名的第一大支流，位于湖北省西南部，靠近重庆市的东部，蜿蜒行于雄伟的武陵山和巫山余脉之间，流经9个县市，全长达440千米，总落差1 500米。清江流域是历史上有名的“盐鱼之乡”（见白九江《巴人寻根》，重庆出版社，2007年）。

② 童恩正认为：“盐水即以产盐而得名……《水经注》以夷水为盐水，虽然不能算错，但所指范围较大，事实上清江的上游才能称盐水”（见童恩正：《古代的巴蜀》，四川人民出版社，1979年）。

③ 关于廪君巴人由清江到长江三峡迁徙的方向路线，主要有三种不同意见，一是“著名考古学家、人类学家童恩正先生认为廪君是从清江流域的下游往上游迁徙的。他们后来进入四川盆地东部……到达长江的瞿塘出口，从而完成了他们转移的征程”并“形成了东周时期地域广大的巴国”。二是“另一些专家则主张廪君巴人是从西向东运动的，沿清江水流而下，先到达宜昌，再沿长江折回西上，在渝东地区完成了他们的战略迁徙”。三是对上述巴人转移的路线，白九江先生亦有不同看法：“各种各样的认识存在巨大的差异，缘于对廪君所经过的难留城、盐阳、盐水、夷城等所处的地理方位有不同的理解。这些古代的地名，很难根据文献中的只言片语界定清楚。廪君巴国的行踪仍不能确定。”（见白九江：《巴人寻根》，重庆出版社，2007年）。



朝巴人入驻三峡；二是春秋时巴人举族进入三峡地区。

第一，任乃强、邓显皇二位先生认为巴人于夏朝入驻三峡地区。但又以任先生为代表，并撰文《说盐》中云："大约夏时，（巴人——本书作者注）受到华夏挨压迫（淮南子言羿斩巴蛇，其冢成丘）。且因巫盐吸引，西溯大江，入于巫峡，成为巫臷①"（至）之食盐运销民族。"……巴人善舟楫，能远行，使巫盐势力扩展至长江上游，于巴②、涪、诸水支流地带。至各地人皆知有巴人而无巫臷，则巴族建国之势成，而巫臷七。其时间当在殷末周初。故武王伐殷，巴王以其师往，留巴渝舞乐于中夏焉。"任先生又考云："巴国之所以能骤然强大，兼并巫臷，正由其能于瞿塘（峡——本书作者注）以西发见更多之盐泉。其产盐量已经超越巫臷，并能封锁巫溪，夺其销场，至于楚人亦仰巴盐。按《左传》所载春秋世巴楚关系，可知其时已无巫臷。但有鯀鱼之人与百濮，皆已役属于巴。"[11]

第二，春秋时，巴人进入三峡地区，却是白九江先生和任桂园先生的观点。

白先生《巴人寻根》中云：春秋末，巴人大举迁移——西迁，挺进四川东部地区（应包括三峡在内）。巴人"西迁，也是巴国国策的一次大调整，是一次战略大转移"。"春秋末期巴国政治中心西移后，很快巴人又建立起一个庞大的新巴国。到战国中期时，巴人的疆域范围一度囊括了今四川盆地东部，兼及黔北、湘西、汉中附近。《华阳国志·巴志》描述巴国极盛时说：'其地东至鱼复（今重庆市奉节县），西至僰（bó）道（今四川省宜宾市），北接汉中，南极黔涪（今重庆市酉、秀、黔、彭及其以东以南）。'"这时，"巴国在四川盆地东部重新找到了归宿，他们已经完全放弃了汉水中游到襄阳一带，把自己的注意力转到巫（巴）山地的南部地区和西部地区"[6]。这一大片地域，可谓是泱泱大国矣[14]。

任桂园先生《远古时期三峡盐业资源与移民文化论述》一文中说，大致春秋时期，巴人进入三峡地区腹心地带，仍旧依仗自然盐泉采卤、熬盐及贩盐为传统职业，从此，使巴国迅速强盛起来。为盐而战，随盐而迁，以盐立国的巴人，盐就是他们的命根子。巴人以资本的雄厚、经济的实力、军事的强大，把三峡地区的泉盐生产和食盐的运销大权，完全牢牢地控制在手中，取代了巫臷（至）民的地位，成为三峡盐业的霸主[14]。

据上述两种观点：前者认为，夏时巴人入驻三峡，但论证不足，尚需资料佐论；后者提出，春秋时巴人迁徙川东地区，正式进入三峡腹地，有考古资料为据兼史料记载，可靠性较大。

在此，还要提到的一个重要问题，即巴人由湖北武落钟离山，走到清江，又从清江走到长江三峡，关系到巴人的先祖、巴国领袖廪（lǐn 懔）君确认其时代。白九江先生《巴人寻根》中归纳为两种认识："第一种观点认为，廪君是战国晚期的巴人首领，是巴国灭亡后一支巴人的后裔。……第二种观点认为，廪君应为较早的巴人先祖，这也是现今大多数人的观点。"[16]

2．春秋战国巴国拥有三峡自然盐泉及分布

---

① 巫臷（至）即巫臷国。

② 巴即古称"巴水"，今名"嘉陵江"。





三峡地区的盐泉，受大自然规律（地质、地理条件）决定其分布，如与地质构造、盐卤资源、河流切割（成河谷）等有密切关系。

三峡地区其地质与地貌的巧合，致使盐泉从各地河谷或山麓流出，其数量之多，分布之广，为全国之冠。据不完全统计，在长江两岸的巫溪、城口、巴东、奉节、云阳、万县、忠县、开县、彭水、武隆、丰都、南川、石柱等十几个县内的溪河边，分布着数百眼盐泉。这一特定的地质、地理环境，开创了四川盐业和中国井盐业之先河[5]。

春秋战国时期，巴国拥有三峡地区自然盐泉[11]，沿溪河分布，或在山麓出露，现举例如下：

（1）巫溪县宝源山盐泉。此泉位于长江支流大宁河流域北岸，从巫溪县宝源山半腰石穴流出，故名宝山盐泉。这口著名盐泉，可能从新石器时期发现、利用，时至20世纪60年代，还在进行采卤、制盐生产。几千年来，为人类生存所需食盐和社会创造财源，作出了巨大贡献。

（2）云阳（朐䏰）县云安盐泉。地处长江北岸支流汤溪河畔（今云阳县云安镇），南可通行木船至江口。其采煮制盐远在周代，盐质尚佳，盐产量大，超过巫溪大宁泉盐[11]。

（3）开县温汤盐泉。位于开县温泉（镇）河流域，位置高于清江河面。早为巴人发现，但因食盐具硫黄味，不常煎制，产量不大[11]。迄今，仍有丰富的泉卤从地下涌出地面，卤水温度在40～50 ℃，常年不变，并含有盐、硫等物质，对人的皮肤有医疗作用，已作为一种独特的保健浴资源开发利用。1994年，温泉“热泉”（即天然盐泉）被四川省人民政府定为“四川名泉”[19]。

（4）奉节县鱼腹、碛坝盐泉。所谓“鱼腹”，即长江水自西向东流经奉节（县）时，又在县城东向南转了一个弧形大弯，致使碛坝形状呈前后两端尖、中部圆、北高南低状，远看犹如鱼腹（人称鱼腹浦），故名。奉节鱼腹地区，早为鱼国之地。东周时，属巴国东部辖区。

鱼腹、碛坝盐泉，位于奉节县城东约1千米，白帝城西5千米处，临长江左岸的第一级台阶上，是一块东西长2 500米，南北宽800米的碛石沙滩①。沙滩（包括盐泉）夏季被长江洪水淹没，冬季水枯露出水面。先去其江水作坑池取卤，然后运石砾成堆，就地沙滩建灶制盐。因每岁所成砾堆，传颂为八阵图[20]。盐灶为圆形（仅此一例），其规格：灶壁厚0.35米，直径3.5米；还有储卤池呈方形，其规格：长12米，宽3.5米[21]。即是以无数的圆形盐灶和方形卤池组成的八阵图②，十分壮观。

（5）忠县㽏（干）溪、涂溪二盐泉。经忠县一带盐业考古和现场实地考察证明，㽏溪、涂溪盐泉，发源于长江北岸两条小支流——㽏溪（又名黄金河）及涂

① 碛石沙滩，又名碛坝或沙洲。古人在碛石坎上建灶，将卤水加工成白盐，故有白盐碛之称。当卤水流出地面时，散发出浓郁的硫化氢味（臭鸡蛋味），即泉卤中含有硫化氢，于是，白盐碛又俗称臭盐碛。

② 鱼腹滩上的石堆群，是历代制盐留下的盐灶群。即盐灶群与八阵图重叠，盐灶群就是八阵图，八阵图也是盐灶群。同时，八阵图是盐灶经改造后用于军事防御的产物。由此相传，诸葛亮聚石为阵，设计摆的八阵图（见刘卫国：《奉节鱼腹浦上的八阵图与盐灶》，载《盐业史研究》，2004年第1期。）



溪（又名汝溪河）深谷地带，盐泉从山岩石缝流出。尤其㽏溪盐泉，在遇久雨或暴雨时自然形成盐泉瀑布。1994 年 11 月，自贡盐业博物馆考察队在盐泉流出处采集了两瓶卤水标本，今保存馆内[21]。

任乃强《说盐》云：㽏溪、涂溪“二溪并行，相距五十里左右，中流并涌盐泉。产盐量更高于朐䏰。秦汉置临江县，王莽改曰监江。临与监，皆古语煎盐之义也。今称盐溪为㽏井。㽏读如盐音，《华阳国志·巴志》作监溪，《水经注·江水》作盐井溪。土人谈盐如龠，后世作此‘㽏’字，以适之。两家尤近巴蜀，故煎盐特盛，然其法当始于巴人。开煎时间在长滩井以后，约与朐䏰同时”[11]。

（6）彭水县郁山盐泉。郁山盐泉位于郁山镇的伏牛山。李水城在《近年来中国盐业考古领域的新进展》一文中说：“郁山镇是一个比较偏僻的盐业产区。由于储量、质量、交通等各方面原因，这里的井盐生产……具有一定的地方特点。但是，由郁山盐泉具有的天然性（天然出露）和浅埋藏的特征，又很容易成为早期人类开发利用的盐业产地。假如真是这样的话，这一带的盐业开发必然与巴蜀、荆楚地区的早期人类活动密切相关。”[22]

任乃强《说盐》述道：郁山盐泉，位于今彭水县郁山镇。有伏牛山，两侧并出盐泉，以右侧盐泉尤佳。由于盐泉出露陆地，故判断煎盐甚早，可能稍晚于巫溪盐泉。原是巫戴（至）之地，其地古民，称为“蟾夷”。并随盐业的发展，又发明了丹砂冶炼。估计煮盐始于商代，采丹始于周初。商周之间，为此区（黔涪流域，又称乌江流域）文化发展时代。但似未建成国家，即被巴人所灭。其后为秦建立中郡奠定了基础[11]。

（7）长宁县淯江盐泉。在今长宁县淯江水畔，虽不属于三峡地区，但由巴人开发。泉盐产量小，去巴东郡较远，却去蜀国最近，利于行销，为巴国时产盐繁荣之地。后因富世盐井与自流井代兴，淯盐乃失去了受宠地位[11]。

最后说明一点：春秋战国时，巴人向西大迁移，从汉江流域等进入四川东部地区，重新建立了自（己）生（存）的根据地，形成了一个地域广大的巴国（应包括三峡地区盐泉在内）。这点与任乃强先生认为东周时巴国拥有三峡地区诸多盐泉，基本上是一致的。

## 二、楚人争夺巴人三峡地区的自然盐泉

张传玺《中国古代史》（上）云：“楚是江、汉流域的一个蛮族国家，西周时，活动在丹阳（今湖北秭归）一带。公元前 689 年，始建都于郢（今湖北江陵纪南城），并逐渐强大，兼并了附近许多小国。……从此，中原各国背晋向楚，楚庄王成为中原霸主。《韩非子·有度》曰：‘荆（楚）庄王并国二十六，开地三千里。’”[23]于是，楚国强大称霸于世，成为“春秋五霸”之一。

白九江《巴人寻根》中说：西周时，“周王将巴国列在楚国、邓国之前，充分说明了巴国的强大。那时候，楚国不过是一个‘辟在荆山’的蕞（zuì）尔小国”。但是，到了春秋时期，“楚国经过楚武王、楚文王、楚成王等的治理，国势日盛，羽翼渐丰，将扩张的目标瞄准了这些身边的兄弟国家（星罗棋布地分布在长江以北至河南南阳盆地一带），将 40 余个小国一一先后灭掉，走上了武力扩张的道路”[6]。





由于楚国的强盛，并崇尚武力扩张，又由于巴楚两国地理位置的近邻，行通方便，再加之楚国缺盐，一向仰食巴盐，所以，巴国的广阔疆域和三峡地区众多的盐泉，必然招至楚人虎视眈眈和所觊觎。“楚国，一个天生注定要演绎巴国对手和冤家的国家。”[6]从整个巴楚关系史来看，巴和楚，有合作结盟，又有对抗争夺，而合作是短暂的，对抗则是长期的。巴国“与强大的楚国战斗，一直就打了数百年”。“巴楚战争不断，目的非常明确，为了一个盐字。”[6]

“春秋战国时期，楚国势力和楚文化基本控制了清江流域。”[6]以巴国取而代之。从此，这块有名的“盐鱼之乡”肥地，归属楚国辖区。

春秋战国时期，楚国对外扩展十分活跃，（沿长江干线）向东南不仅基本控制了清江流域，而且向西到了瞿塘峡以东和以西广大地区，即楚国从春秋中晚期拥有瞿塘峡以东的地区，到了战国时一跃进入到了瞿塘峡以西地区，甚至抵达最西的今重庆忠县地域[6]。为此，楚国为了争夺巴国所拥有的天然盐泉以及土地、森林、水道等自然资源，巴楚相争长达数百年之久。及至战国中后期，楚国以其强大的实力，凌厉的军事攻势，不断向西逼近，以攻占巴国疆土，掠夺巴国盐泉，并占领了三峡大部分地区。例如，今万州云阳县境内的汤溪河畔天然盐泉（位于近长江北岸）以及今云阳新县城西约2.5千米处并由北注入长江的澎溪河及其上游清江河段的温汤河峡谷之天然盐泉。这两处地方，自远古即有天然盐泉渗涌不绝，再加上水运条件方便，于是，让楚人垂涎，成为西进路上首选之地，已为顺理成章之事[14]。战国时期，今万州大丘出土的大型（超级大型）楚墓群、云阳故陵镇（附近）平扎营出土的大型楚墓群以及故陵出土的小型楚墓群[6]都证明了楚人在万州云阳一带频繁活动，包括盐泉和地域的占领。又如，战国时期，楚人由东向西扩张，今重庆忠县㽏（干）溪沟上游两岸的自然盐泉，是楚人要获得的重要目的和财富来源。忠县㽏溪沟哨棚嘴遗址发掘的“楚式剑”及㽏溪沟在左岸发掘出的崖脚楚墓群等[6]，楚国军人墓地的大量发现，大都是邻近自然盐泉出露地区。同时，证明楚人西扩进入了巴国腹心（今重庆忠县）地带。再如，楚国“向仰食盐于巫載”，巴国强大，则仰于巴，春秋初世，巴强于楚。其后巴楚通婚。战国时，巴已北徙其国邑，疏于备楚。楚人乘隙而侵夺其盐泉。最先夺得者似为郁山盐泉。其道自宜都溯清江（夷水）之谷至郁山……盐水者，楚人取盐于郁山之水道也[11]。

楚人为了争夺巴国的盐泉、领土、森林等自然资源，楚、巴进行了长期的战争（尽管楚从中多获战果），但是，双方耗费了大量人力、物力和财力，直到相争收场，白九江先生作了这样的概述：“春秋时期，楚、巴相争的结局以巴国政治中心西迁而告终；到了战国，楚人如影随形，尾随巴人企图染指瞿塘峡以西地区。楚人的处心积虑，使其在一定程度上达到了自己的目的。”[6]

楚人因祸得福于宝山盐泉。公元前611年，楚国发生了大饥荒，位于鄂西北的庸国乘楚大荒之际，联合江汉平原“群蛮以叛楚”，楚军大败，在万分危难之时，楚求于巴、秦援助，巴、秦、楚联军一道，一举灭掉庸国。楚人夺得了梦寐以求的宝源山自然盐泉，并在巫山设置巫郡以统辖之。此种状况，一直延续到战国时期。正如（清）光绪《巫山县志·沿革志》（卷二）载云：“战国，楚国有巫郡，



《国策》苏秦说楚威王曰'南有巫郡'。"[14]同时，"巴人参与楚人灭庸分得了一杯羹，他们得到了鱼邑（今奉节）"。[6]这是巴楚合作（短暂）的范例。

巴（国）、楚（国）相争的史实告诉我们，楚人步步西进，实为争夺三峡地区的天然盐泉，同时占领了巴大片土地。尤其于公元前377年，巴蜀两国联军伐楚，双方在楚都郢附近松滋（今湖北松滋县）大战，其结果以巴蜀联军惨败而告终。自此，巴再也无力向楚挑战，楚不断西逼，而巴节节败退[6]。巴之郡，先由枳邑（今涪陵）迁到江州（今重庆），再迁往合川，最后止于阆中，直至被秦灭巴蜀，巴亦完全彻底退出了占领三峡盐泉的历史舞台。

**三、秦、楚相争巴（国）三峡地区的自然盐泉**

战国时期，以秦、楚两国极为强盛，但两国之间势同水火[6]。

随着楚国西扩紧逼，巴国步步败退，楚从巴夺得的众多盐泉和大片土地，并获利甚多，国势渐强，这必然引起秦人的垂慕。同时，"巴、蜀两国位于秦、楚的南面和西面，战略地位十分重要"[6]。由此，导致秦、楚对巴地（包括盐泉、领土等）激烈反复地争夺。

秦灭巴蜀时，楚人乘机进兵夺得巴国都枳邑（今涪陵）以东诸多盐泉，巴御秦，而不能自顾江州（今重庆）以东盐泉。故此，楚人取之甚易。秦得巴蜀而失掉了盐泉。随即秦人大举浮江攻楚。然楚势尚强，因守枳邑以东地区，秦仅得沿江盐泉，及楚商于之地[11]。

公元前278年，秦对楚展开了强大凌厉的攻势。秦著名的将军白起率领大军攻破了楚都郢（今湖北江陵纪南城），并在夷陵烧毁了楚先王陵墓，秦在这里设立了南郡，迫使楚迁都于陈城（今河南淮阳）。由于楚都东迁，巴东盐泉亦不守。次年（即公元前277年），秦派蜀守张若夺得楚的巫郡和黔中郡[23]。因之，巴东诸多盐泉全归于秦。但是，楚人并不因此而罢休，轻易放弃这些盐泉。楚王旋复组成十万大军，并在沿江广大民众的支持下，又夺回了诸盐泉。之后，仍为秦所夺走。至公元前224年，秦将王翦以六十万大军伐楚，次年灭楚[23]。楚亡，三峡地区全部盐泉及土地等资源归秦所有。"三峡之盐便成了秦统一六国的重要资源。"[6]

"为争夺盐泉之利，秦楚进行了数十年之久的战争。史谓'楚得枳而国亡'，前人多不解。其实，即指楚占巴东盐泉，犯秦所必争，故遭强秦所灭。"[11]可见，古代盐泉在一个国家中占据的重要地位和作用。恐怕古代的泉卤比当今的石油还要宝贵。楚国为争夺盐泉，遭到灭国之祸，就说明了这点。

## 第五节　泉、盐泉与井、盐井的区别

以上四节，讲述了盐泉的成因、发现、利用及对盐泉、盐利的激烈争夺，由此说明盐泉和泉盐在人类社会中占有重要的地位。那么，泉、盐泉与井、盐井有否区别？按其成因和科学含义是有区别的。但是，在一些文献中（古今有之）却误把泉与井、盐泉与盐井混为一谈，即泉就是井，盐泉就是盐井，或井就是泉，盐井就是盐泉，如下仅举几例为证。在举证之前，先从它们的含义和区别谈起。





## 一、泉、盐泉与井、盐井的含义及区别

### （一）泉和盐泉的含义

所谓“泉”，即指“蓄水层出露地表，或潜水面高出地表，地下水就自岩石和土壤中流到地面成为泉”[24]。或是地下水在地表的天然露头。在自然界中，只有当在地质、地理和水文地质条件适宜的地方，地下水才能涌出地表形成泉。如由于地质构造作用，在山区地层褶皱剧烈、断层和裂隙发育，因此，有利于地下水出露，泉就多。又如，河流受到强烈的侵蚀和切割，在谷地、冲沟及河流两岸，泉也较多[25]。关于泉的种类，根据不同的出露条件和泉的成因，可将泉分为断层泉、裂隙泉、溶洞泉及侵蚀泉等；根据水力（承压）性质，可将泉分为上升泉和下降泉；根据补给泉的地下水类型，可将泉分为上升滞水泉、潜水泉及自流水泉[26]。

所谓“盐泉”，即是含盐分较多的矿泉，亦即是地下卤水（或盐水）出露地面，形成的矿泉。采集卤水（或盐水）煎制成结晶食盐。

### （二）井和盐井和含义

关于“井”的含义，即是用“人工方法使地下水出露地面的，叫做井”[26]。或指凿地取水形成的洞穴，故名“井”，如“自流井”。古有“凿井而饮”之说；还有“黄帝穿井”及“伯益作井”① 之传闻。这是我国史上较早出现的凿井和井名了。

关于“盐井”，即指出产盐的井，故名“盐井”。早期著名的盐井，如，在四川省：川西有“广都盐井”；川南有“富义盐井”“自流井”；川东有“白兔盐井”“围子盐井”等。滇省地区有“黑盐井”“白盐井”等。在四川，盐井亦名卤井，又因卤水的性质不同，卤井可分为：黄卤井、黑卤井及岩卤井。不过前二者为天然卤水井，后者为人工卤水井（固体岩盐溶化成卤水的井）。取其盐汁（卤水）加热蒸发结晶成盐。

由上可知，泉和盐泉为天然形成，井和盐井为人工所为，二者有本质区别，不可混淆。当然，二者亦有密切关系，往往盐泉的发现又是盐井开凿的先导。

## 二、误认泉为井、盐泉为盐井的例证

上述已讲了，盐泉与盐井有区别。但是，本书作者曾赴川东盐区考察和查阅材料，发现不少文献中错把川东泉当井、盐泉当盐井，即泉称井，盐泉亦称盐井，各二者合二而一。下面有例可证。

例如，廖迪生《巫溪县大宁厂盐业史话》一文云：远古时，猎人（袁氏）追赶白鹿发现巫溪县宝源山盐泉，从此才有人晓得此处有盐井……称这盐井叫百鹿井，亦叫“白鹿引泉”。同文又云：“如今再去参观白鹿井，所能见到的唯有宝源山仍旧巍然屹立：‘山麓穴尚出的盐泉，仍旧细水长流。’”[27]川东巫溪宝源山盐泉，又名大宁盐泉或白鹿泉，是川东盐区最著名的盐泉。可是，廖先生把泉与井、盐泉与盐井等同称谓，有误。

又如，张金河等《温泉盐场的卤井和取卤方式》一文里说：开县温泉镇“此地古时有盐卤从地下涌冒（出地面——本书作者注），朝天冲起，像一把伞。现早

① 见本卷第三章第一节“一、移民入川——给四川带来了先进的凿井技术”的有关部分和出处。



已不见有盐卤流出，但地名保留至今”。于是，“其他民间有‘伞子井’和‘冲天井’之说”[19]。地下卤水涌出地表，“朝天冲起”，说明地下卤水比较丰富，地层压力亦较大。同时卤水朝天冲起的形态像一把伞，形成的是盐泉，而不是卤井。因之，“伞子井”应该更名为“伞子泉”，“冲天井”即“朝天井”，亦应更名为“冲天泉”或“朝天泉”才对。

再如，（清）同治《酉阳直隶州总志》载道：彭水县“在县治之东百里有伏牛山，山下有咸泉四，曰伏鸠（斑鸠）、鸡鸣、楠木、老郁”①。任乃强先生《说盐》述道：彭水县伏牛山，（山）“两侧并出盐泉，右侧泉尤佳，是为郁井。实皆甃池贮之，非凿地也”。据任先生考，彭水泉“盐始殷世”[11]，至清代后期，仍为盐泉（泉盐）生产。但是，这里任先生却把盐泉与盐井并论。

还有，（南宋）祝穆《方舆览胜》云：“《朝野杂记》（全名〈宋〉李心传《建炎以来朝野杂记》——本书作者注）有龙州之仙井，邛州之蒲井，荣州之公井，大宁、富顺之井监……皆大井也。惟（推）大宁之井，咸泉出于窦间，有如飞瀑，民间分而引之。”[28]大宁“咸泉”，不是“井”或“大井也”（大口盐井——本书作者注）。

另有刘卫国先生称“自然盐泉”是“原始井”[5]。把“泉”与“井”合一同称。等等。

千百年来，泉与井、盐泉与盐井之称谓含混不清。在古代，由于历史条件限制，生产力和科技水平低，把泉与井、盐泉与盐井统称，概念错乱模糊，这是可以理解的。但是，到今天应该是澄清的时候了。

# 本章结语

本章依据地质勘察、盐业遗址考古及史籍考证等有关资料写成。现结语如下：

一、川东三峡地区古盐泉星罗棋布。滔滔长江在川省东端劈开巫山，东逝而去，形成了举世闻名的三峡大谷。于是，在峡谷地区及长江（峡区段）两岸溪河流域（如大宁河流域、汤溪河流域、㽘（干）涂二溪流域等），地下盐水（包括自然盐水或岩盐溶解后而成的盐水）在优越的地质、地理条件下，自动从地下涌出地表，形成自然盐泉。据不完全统计，自然盐泉多达“数百眼”[5]，星罗棋布遍及川东巫溪、云阳、万县、开县、巴东、忠县等十多个县区。古盐泉的形成，为三峡先民发现和利用盐泉创造了条件。

二、川东忠县境内盐业遗址考古，填补了川盐史的空白。川东三峡盐业遗址主要在忠县境内发现，出土多处盐业遗址，其中又以中坝盐业遗址、瓦渣地盐业遗址为代表。其制盐陶器主要为尖底杯、圜底罐、缸（柱状或尖底）等，出现时代定在商代，但向上可推至新石器时代晚期。由此，四川盐史由原起始战国末年，向前提到新石器时代晚期，填补了四川盐业史两千年左右的空白。这是考古工作

① 本意为“咸”意（或盐泉名），当地少数民族的土语。





者辛苦劳动获得的丰硕成果，也是川盐史研究领域取得的重大突破。

三、川东盐业历史古久，上至新石器时代晚期，下迄当代，上下四千多年。根据盐业生产特点，可分为两个时期——盐泉时期和早期的人工凿井。

（一）盐泉时期（新石器时代晚期——秦代①）。这一时期三峡先民发现盐泉、采集泉卤及利用陶器熬盐（泉盐生产）。由于泉盐（食盐）的珍贵和盐利的丰厚，乃是国强、民富的财源，因而诱发了各国或部落联盟对三峡盐泉进行了激烈的争夺战。如远古时，巫咸国与巫载（至）国可能因信仰不同或因争夺盐泉和盐利，互为仇敌，结果前者被后者所灭；又如，春秋战国时期，楚人为争夺三峡盐泉，与巴人进行了长期的战争；再如，秦人与楚人都为争夺三峡盐泉、土地等资源，秦楚之间亦进行了数十年的战争，最后导致楚被秦灭。请注意：巴人、楚人、秦人是争夺三峡盐泉，而不是争夺盐井。

早期的云南盐矿业，同样存在盐泉时期（汉—晋时期）②，这比四川东部地区发现和利用盐泉要晚。

（二）早期的人工凿井——以西汉白兔井为范例。西汉初，川东云阳县云安镇白兔盐井开凿成功③，标志着盐业开采进入了一个新的时期。这口盐井从西汉初凿成投产，迄至20世纪60年代停产，历时两千多年卤旺不衰，成为川东盐区的一口奇井，也是川东盐区人工凿井的历史实物见证。

---

① 公元前316年，秦国灭巴国，从此，川东盐泉归秦所有。

公元前221—前207年，秦统一中国，建立秦朝，于是，川东盐泉仍为秦管辖。因此从新石器时代晚期至战国或秦代为盐泉时期。但战国末至秦代后（西汉初始），人工凿井成功，自此，川东盐业进入了一个新时期。

② 见本卷第七章第六节。

③ 注释有三点：其一，据史料记载，西汉朐忍县（今云阳县）设盐官和扶嘉开凿白兔盐井。刘琳《华阳国志·巴志》校注云：西汉“朐忍县有盐官，又云：“西汉时巴郡只有朐忍县有盐官”，凡郡县出盐多者，置盐官主盐税。”[29]可见，西汉时，朐忍县盐业的繁荣，与当地人扶嘉开凿“白兔盐井”是密切相关的。

（宋）王象之编著《舆地纪胜》（卷一八二·云安·人物）引“按《杂记》：汉廷慰扶嘉，本朐忍（通：朐䏰）人也……高祖为汉王，与相遇，扶嘉劝定三秦。高祖以嘉志在拱翼，赐姓扶氏为廷尉，食邑朐忍县。嘉临终有言曰：‘三牛对马岭，不出贵人出盐井。’”按马岭在县北三十里，三牛在县北二十里，皆近盐井监监矣。[30]

（清）咸丰《云阳县志》（卷八记载：汉高祖刘邦）“使扶嘉开云阳盐井，到今赖之”。扶嘉身后，其女依嘉嘱咐，新开盐井增至九井（即上温井、下温井、东井、南井、西井、北井、石渠井、浣沙井、土窝井）[31]。由于扶嘉因开盐井为当地致富，民众永世不忘：“立嘉为井主，至今为云安井神。”[32]，扶嘉生卒不详。据史料记载，仅知他是云阳人。去县西四十里。“万户驿北，有汉城山，乃汉扶嘉所居。”[30]许肇鼎《井盐开发者旧闻》中云：“云阳一带，在秦汉之际，原为巴族聚地区，……（扶嘉）可能是一个巴族人。”1985年10月，我们在云安镇考察时，镇上有一位老盐师曹久林（当年81岁）讲：“扶嘉学识渊博，军事高明，汉高祖刘邦访贪会见过他。”此说与史籍记载基本相同。扶嘉向高祖刘邦“献定三秦策”[30]，或说“劝定三秦”，对平定天下有功，因而受到刘邦的赏识，封嘉为“廷尉”。由此推测，扶嘉不是一般的凡人。

其二，专家认同西汉扶嘉开凿白兔盐井。任乃强先生认为，云阳县云安盐泉，围泉掘井，即白兔盐井，“其法为西汉初当地仙人扶嘉所创”[11]。白广美先生《川东、北井盐考察报告》中云：“西汉大口盐井——云阳‘白兔井’。”井址“位于云安镇上，至今井体部分保存尚好，卤源旺盛，经两千多年不衰，实为奇观……是至今在我国找到的保存较好的最古老的盐井”[34]。侯虹先生认为，西汉时，扶嘉即在自然盐泉涌出地表处，指挥民众挖掘井身，建成云阳第一口人工盐井，名曰“白兔井”[35]。许肇鼎先生认为：西汉扶嘉在云安“凿井的事，则似属可信”[33]。

其三，关于井身结构及采卤方式，详见本卷第三章第五节。



川东盐区另外有一种特殊的盐井即围泉作井，向地面升高，以隔绝洪水流入井内，统称“围子井”（包括烟囱井、梯形井等，围子有高低、大小之分），俗名“土盐井”。这类井形态原始，井身结构单一，采卤方式简易。正因其井形似古老，所以有的盐史研究者认为“围子井”起源较早，但是缺乏史料证明或考古资料论证。然其实“围子井”并非一定起源很早。据任乃强先生考说，西汉初，云阳县人扶嘉用土石围泉作井，以隔江水[11]。张金河先生等据史料记载则认为开县“围子井”即“温泉方形筒式卤井产生于清代乾、嘉时期”[19]。刘卫国先生《从忠县涂井溪的古盐泉看人工井的早期演进》一文，提出杉木井、江心井、高井等五种各具特色的雏形井，并认为其发展、演进过程十分“漫长”[4]。但是，刘先生没有说明这类井“漫长”的确切年代。由上认定：在川东人工盐井没有资料证明比川西早之前，我们仍将以川西战国末李冰凿井为四川最早，而川东泉盐生产又为四川最早。

四、泉与盐泉、井与盐井的区别。前二者为天然形成；后二者为人工开成。因此，泉不能称井，盐泉亦不能叫盐井。川东大宁盐泉又称“盐池”[29]，或称“龙池（水池）”，故此，“大宁场又称龙池场”[27]。

# 参考文献

［1］孙智彬：《忠县中坝遗址的性质——盐业生产的思考与探索》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［2］曾先龙：《中坝龙窑的生产工艺探析》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［3］王佑民主编：《万县地区盐业志》，四川人民出版社，1991 年。
［4］刘卫国：《从忠县涂井溪的古盐泉看人工井的早期演进》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年。
［5］刘卫国：《渝东古盐业探源》，载《盐业史研究》，2004 年第 3 期。
［6］白九江：《巴人寻根——巴人·巴国·巴文化》，重庆出版社，2007 年。
［7］陈信卫：《盐业史研究·巴渝盐业专辑·序言》，2003 年第 1 期。
［8］孙华：《四川盆地盐业起源论纲——渝东盐业考古的现状、问题与展望》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［9］李小波：《三峡古代盐业开发对行政区划和城镇布局的影响》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［10］程龙刚：《关于三峡地区盐业生产源起的思考》，载《盐业史研究》，2004 年第 4 期。
［11］任乃强：《说盐》，载《盐业史研究》，1998 年第 1 期。
［12］董咸庆：《云南食盐产地沿革与变迁》，载《盐业史研究》第 1 辑，1986 年。
［13］阿波：《上古巫咸国考析——中国盐文化探源》，载《盐业史研究》，1991 年第 1 期。
［14］任桂园：《远古时期三峡盐业资源与移民文化述论》，载《盐业史研究·巴渝文化专辑》，2003 年第 1 期。
［15］曾先龙：《中坝遗址在三峡库区盐业考古中的地位》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［16］陈伯桢：《由早期陶器制盐遗址与遗物的共同特性看渝东早期盐业生产》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
［17］孙华：《渝东史前制盐工业初探——以史前时期制盐陶器为研究角度》，载《盐业史研究》，2004 年第 1 期。
［18］童恩正：《古代的巴蜀》，四川人民出版社，1979 年。
［19］张金河等：《温泉盐场的卤井和取卤方式》，载《盐业史研究》，2004 年第 1 期。
［20］刘卫国：《奉节鱼腹浦上的八阵图与盐灶》，载《盐业史研究》，2004 年第 1 期。
［21］黄健：《川东盐区考察初步报告》，载《盐业史研究》，1995 年第 2 期。



[22] 李水成：《近年来中国盐业考古领域的新进展》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。
[23] 张传玺：《中国古代史》（上），北京大学出版社，1985 年。
[24] 张家环：《普通地质学》，石油工业出版社，1986 年。
[25] 南京地校编：《普通地质学》，中国地质出版社，1978 年。
[26] 成都地质学院普通地质教研室编：《动力地质学原理》，中国地质出版社，1978 年。
[27] 廖迪生：《巫溪县大宁厂盐业史话》，载《巫溪县政协文史资料》，1983 年第 2 期。
[28]（南宋）祝穆：《方舆览胜》卷五一，成都府路·成都府“总论蜀盐”条目。
[29] 刘琳：《华阳国志·巴志》校注，巴蜀书社，1984 年。
[30] 曹学佺：《蜀中名胜记》卷之二十三，重庆出版社，1984 年。
[31]（清）咸丰：《云阳县志》卷一·古迹。
[32]（明）嘉靖：《云阳县志》（上卷）。
[33] 许肇鼎：《井盐开发者旧闻》，载《井盐史通讯》，第 1 期，1979 年。
[34] 白广美：《川东、北井盐考察报告》，载《自然科学史研究》，第 7 卷，第 3 期，1988 年。
[35] 侯虹：《渝东地区古代地质环境与盐矿资源的开发利用》，载《盐业史研究·巴渝盐业专辑》，2003 年第 1 期。




# 第三章
## 早期的凿井工程和采卤技术（公元前3世纪至11世纪40年代）

春秋战国时期，乃是我国历史上奴隶社会崩溃、封建社会初步形成的时期。这一时期，四川也经历了由奴隶社会到封建社会的大变革。

公元前316年，秦国灭巴、蜀后，废除奴隶制，实行封建制，并采取各种有力的举措，开发巴、蜀，发展社会生产，于是，四川尤其西蜀地区的社会经济逐渐有了长足的进步和发展。战国末期，随着北方中原地区先进的打井技术传入、冶铁业的发展和铁工具的使用，凿井工程专家——蜀守李冰组织和率领川西民众，在成都、双流一带，成功地开凿了我国第一口“广都盐井”，从而产生了我国井盐工程技术。为此，中国井盐工程技术从秦代开始，汉代大发展，至唐代达到鼎盛。在大口盐井阶段，凿井众多，其中以四川陵州（今四川仁寿县）陵井为典型代表。陵井井型规模巨大，是一口特大型盐井，堪称我国和世界凿井工程史上的伟大奇观。

狼毒（陵）井亦是一口大型盐井，井身结构奇特（呈杖鼓形），采卤设施庞大，开采技术先进，其井型规模仅次于陵井。为复修狼毒（陵）井，治服井下凶恶的“毒气”，古人发明了“雨盘”，这是先民利用自然和改造自然的一大胜利。

关于早期的大口盐井，史籍记载颇多，但实物资料极少，而今川东现存的白兔盐井遗址，其凿井技术、井身结构、生产方式等，为今天再现汉代大口盐井提供了一个珍贵的实物标本。

### 第一节　春秋战国时期社会大变革与井盐工程技术的产生

春秋战国时期，是我国历史上奴隶社会逐渐崩溃和瓦解、封建社会逐渐形成的时期。这个时期，四川经历了由奴隶社会向封建社会转变的大变革。正是在这种社会背景下，产生了我国井盐凿井工程技术。

春秋时期，经过长期激烈的争霸和兼并战争，许多弱小的诸侯国被强大的诸侯国吞并灭亡了。到了战国时期，主要诸侯国有七个：齐、楚、韩、燕、赵、魏、秦，历史上称为“战国七雄”[1]。这一时期，先后各诸侯国已经进入封建社会。其中，秦国经过商鞅比较彻底的变法，秦国的旧制度被废除了，封建制度得到了巩固，社会经济迅速地发展，秦国逐渐成为七个诸侯国中实力最强的国家[1]。当时，位于四川一隅的巴、蜀两国，仍处于落后的奴隶社会。同时两国各霸一方，实行割据，长期争战，于是，在这种形势下，发生了秦灭巴、蜀的大战。根据秦将司



马错的战略："得蜀则得楚，楚亡则天下并矣。"[2]又《华阳国志·巴志》云："仪贪巴、苴之富，因取巴。"不难看出，秦灭巴、蜀、苴，则进而是灭楚，直到"则天下并矣"。公元前316年①，爆发了秦灭巴、蜀的战争，同时置巴、蜀、汉三郡。自此，四川地域纳入秦国的版图，属秦王统辖的一部分。秦为了巩固在巴、蜀的统治，废除了巴、蜀的奴隶制，实行封建制，并采取各种有力的措施，开发巴、蜀，发展经济、科技和文化。为此，我国井盐凿井技术得以应运而生。

**一、移民入川**

**——给四川带来了先进的凿井技术**

公元前316年，秦灭巴、蜀，至此，四川地区成为秦国统治的一部分。随着秦在四川政权的建立和巩固，便采取大规模移民入川的措施："周赧王元年（公元前314年），秦惠文王封子通国为蜀侯，以陈壮为相，置巴郡。以张若为蜀国守。戎伯尚强，乃移秦民万家实之。"[2]若以每家五口人计算，万家则移民50 000人，当时，仅就四川来讲，算是大规模移民了。从秦惠文王到秦始皇时，多次组织过大规模的移民入川："然秦惠文、始皇克定六国，辄徙豪侠于蜀，资我丰土。"[2]"临邛县……本有邛民，秦始皇徒上郡实之。"[2]直到汉代，移民入川仍在不断进行，故，西汉著名的文学家扬雄（公元前53—公元18）在《蜀都赋》中云："秦汉之徙，元以山东。""巴蜀道险，秦之迁民皆居之。"[3]移民的由来，身份各有不同，有一般民众、工匠；也有贵族富豪如卓王孙、程郑等；还有罪人如始皇九年（公元前238年），嫪毐之乱平息，其舍人"迁蜀四千余家"[4]，先后强迫入川。

秦以大规模移民入川，其目的也是多方面的，但主要有两方面：一则充实边地，以开发巴蜀；二则削弱六国内地的反抗势力[4]。总之，是加强封建统治，巩固国家统一。

当时，四川地处偏僻，经济（比中原）落后，移民入川，对开发巴、蜀起了重要作用。其一，引进人才，如各种工匠，特别是蜀守兼地质和工程专家李冰，是我国井盐开拓的先驱，功不可灭；其二，引进资金，如豪商大贾卓氏、程郑入川，随即带来了大量资金，在临邛经营冶铁业，获利甚巨，富比王侯；其三，引进劳力，如公元前314年，一次"移秦民万家"（计50 000人），主要还是民众。当时，四川地广人稀，移民为开发四川提供了大批廉价的劳动力；其四，引进技术，将中原或北方其他地区先进的生产技术和发达文化带到了四川，如凿井工程技术和冶铁技术等。于是，在公元前3世纪，四川开凿了我国第一口盐井，成为我国井盐生产的发祥地。

关于凿井技术。凿井技术，我国发明比西方早②。人类社会达到定居农耕阶段时，凿井就开始了，因而有"凿井而饮，耕田而食"[5]之说。据史载和传说，远在

---

① 四川省历史组编写：《四川历史》（上册"古代部分"）云：秦灭巴、蜀的年代为公元前329年。四川人民出版社，1982年。

② 此仅指水井，不是盐井。西方早于公元前27世纪（距今约4 700年），在古埃及金字塔附近打井取水，为修塔所用（见李吟秋：《凿井工程》第一章第二节"西秦凿井之沿革"，民国二十年）。而我国浙江余姚县河姆渡村遗址发掘出的水井，已距今约7 000年，由此，尔当比西方早。（河姆渡遗址，见本章参考文献[21]）





原始社会晚期，北方中原地区就有了所谓“黄帝穿井”①、“伯益作井”②、“舜穿井”③，反映了当时凿井的盛行。古井的出现和形制，在我国象形文字中可以寻到一些踪迹。如用古文和金文记载的“井”字，一直沿用至今，没有什么变化。据考古发掘表明，早期的古井即是一种“土井”，形制呈长方形或椭圆形，如张家坡居住遗址中发掘出的西周早期和晚期的水井八座，其中长方形的发现五座，井口尺寸，长1.00～2.40米，宽0.50～0.70米；椭圆形的有三座，长径为1.95～2.10米，短径为1.30～1.40米[6]，反映了当时古井的形制和规格。

战国时期，随着奴隶制向封建制的转化，科学技术的进步，生产力的发展，凿井技术在周朝打井的基础上，又有了很大的改进和提高。第一，井形的变化。由长方形或椭圆形逐渐变成圆形。圆形井增强稳固性，为后来井形的改进和发展奠定了基础。第二，井身结构的改进。即由土井改为陶井。如新中国成立后，在北京外城西北转角，东经宣武门至和平门一带，广安门内外等地，发现了大批战国时期的陶井[7]。这些陶井的结构是先挖一直径大于井圈的土井，先后将井圈在土井中套叠起来，砌成筒形，土井与井圈外壁之间用土或碎陶片填塞。当土井下及流沙层，挖出流沙效果不大时，即放下井圈，在井圈内挖砂，使井圈逐渐下降，以达到水层，这种做法是古代劳动人民在不断克服自然和改造自然方面的创造之一[7]。这是中原地区出现较早的陶井。第三，桔槔汲水的发明。西周时期，劳动人民在生产实践中，运用物理学上的杠杆原理发明了桔槔，安置在井上提水。《庄子·天地》云：“凿井为机，后重前轻，挈水若抽，数如泆汤，其名为槔。”同书《天运》又说：“夫桔槔……引之则俯，舍之则仰。”桔槔虽是一种简单的机械，但能成倍提高工效，则是井上应用机械提水的一个重大进步。

战国时期，陶井从土井发展而来，并在井形、井身结构及汲水机械上有了很大的改进和提高，这标志着凿井技术发展到了一个新的阶段。随着移民入川，陶井凿井传入巴蜀，川西陶井的出土，则是中原文化传入西南的佐证。同时，盐井固井的石圈类似陶井用的陶圈。下石圈即固井，将数个或数十个石圈从事先打好的圆井底累叠至与地平，构成石套管，以隔绝地表淡水和保护井壁，石圈外与井壁之间，用泥土或碎石等填塞，与陶井固井类同。石圈下好后，再凿井。再如凿井碓架，运用杠杆原理制成，用于钻井和修井。钻井用的碓架，是源于桔槔和水碓，即是桔槔和水碓的继承和发展。

总的来讲，秦为了开发巴、蜀，采取向巴、蜀地区大量移民的措施。从秦惠文王至秦始皇，一百多年间，多次“移秦民万家实之”。成千上万的中原人来到巴、蜀安家落户，把中原地区先进的生产技术和文化带到巴、蜀，推动了巴、蜀经济和文化的巨大发展。

---

① 陆德明《经典释文·周易音义·井》载：“《周书》云：黄帝穿井。”宋衷注，茆泮林辑：《世本》“作篇”（第107页）云：“黄帝见百物始穿井。”见商务印书馆，民国二十六年本。

② 宋衷注，孙冯翼集：《世本》“作篇”（第1页）载：“伯益作井。”又，宋衷注，茆泮林辑：《世本》“作篇”（第114页）云：“化益作井。”同文献上说：“宋衷曰：‘化益，伯益也，尧臣。’”

③ 司马迁《史记·五帝本纪》云：瞽叟“使舜穿井”。“舜，冀州人也，……舜既入深，瞽叟与象共下土实井；舜从匿空出。”可见，这种井既有竖井，又有巷道。



## 二、战国时期钢铁技术的发展和铁工具的使用
## ——为盐井开凿提供了锐利的器具

我国古代的钢铁技术，于西周时期发明[8]，战国中晚期兴盛，汉魏时期成熟。铁工具的使用和推广，则是封建社会生产力发展的重要标志，其功能和用途超过了以前任何非铁工具，极大地提高了人们改造自然的能力。

据史料记载及考古发现证实，在我国西周时期，钢铁技术已经发明，开始制造和使用铁工具。到春秋晚期至战国早期，钢铁技术有了较大发展，先后出现了生铁、制钢及铸铁柔化处理技术。如1964年，江苏省六合县程桥中学内一座春秋晚期墓中出土的白口生铁丸（一件），1977年，湖南长沙窑岭战国早期墓中出土的铁鼎（一件），就是最佳的实物凭据。尤其是生铁冶炼技术的发明，具有重要的意义。这种生铁是铁矿石在炉温1 150 ℃～1 300 ℃的条件下冶炼出来的，由于冶炼温度较高，初出的产品呈液态，可以直接浇铸成形，铸造各种形制比较复杂的铁工具，省工又省时，因此，工效高，成本低，质量优，为铁工具的推广和应用，开辟了广阔的前景，同时亦为后来各种形式的生铁制钢技术奠定了物质基础。

战国中晚期，我国钢铁技术获得了巨大的发展。首先，是铸造技术取得了辉煌的成就，冶铸工匠通过长期生产实践，在泥范铸造的基础上，经过改进，发明了铁范铸造。如河北兴隆县燕国和磁县赵国遗址出土的铁范，是目前发现最早的两批金属范，其中兴隆燕国遗址的铁范48付，总计87件[9]，包括有镬范、锄范、镰范、斧范、凿范及车具范等。其外形和铸件的形制相似，铁范厚度均匀，说明当时铸造工艺相当先进。铁范的发明，大大提高了铸件成型率，节省了人力、物力及财力。同时，铁范使铸件冷却快，利于得到白口组织，便于柔化处理，是制造农具、手工工具及其他工具的理想设备。其次，是战国中晚期铸铁柔化处理技术，比战国早期有了进一步发展和提高。表现在地域扩大了，品种和数量增多了，柔化处理工艺水平大大提高了，如燕下都出土的铁镈[10]及辉县的铁带钩[11]处理工艺较完善，中心无白口残余。铸铁柔化处理技术的发明和发展，提高了生铁铸造件的强度、塑性及韧性，减少铸造件的脆性及开裂，扩大了生铁的使用范围，延长了铁工具的使用寿命，加快了铁工具取代非铁工具的历史进程，在冶金史上具有划时代的意义。再次，是制钢技术的进步。我国早期的块炼渗碳钢简称块炼钢，由块炼铁反复加热折叠锻打而成，故名块炼钢。如河北易县燕下都44号墓出土的钢剑，长100.4厘米[10]，比同时的青铜剑要长一半，并且经过淬火，制作精良，工艺先进。它是块炼钢制作的。战国中晚期，由于我国钢铁技术的大发展，因而冶铁业在广大地区建立起来，成为一项重要的手工业。据考古发掘证明，冶铁遗址分布广泛，在“战国七雄”的广大土地上都有大量铁器发现：东到山东，南到两广（广东、广西），西抵秦国武威，北达辽宁，内地有四川，即分布范围包括我国东、西、南、北、中的广大地区，几乎遍及全国，而且冶铁生产规模相当大，如山东临淄故都内已发现冶铁遗址多处，其中最大者40万平方米[12]。从出土的铁制工具来看，品种之全，数量之多，质量之优，分布之广，盛况空前。根据铁工具用途和功能分类，主要有铁农具类、手工工具类、日用铁器类、兵器类等。总之，战国中晚期，我国钢铁技术有了巨大的发展，取得了辉煌的成就，铁范铸造





工艺的发明，铸铁柔化处理技术的提高，制钢技术兴起。淬火工艺的出现，为钢铁在社会生产和社会生活中的应用和推广，起了重要的作用，从而推动了社会的进步和发展。

四川冶铁业的兴起及铁工具的使用。根据史实记载和目前古发掘来看，四川冶铁业始于战国时期，兴于秦汉时期。铁工具的应用，为盐井开凿提供了锐利的器具。

四川冶铁业的兴起，同全国钢铁技术的发展和提高是分不开的，尤其是北方中原地区钢铁技术的传入，对四川冶铁业的兴起和发展，起了重大的作用。

秦汉时期，四川冶铁业兴起。战国时代，冶铁业主要集中在中原地区等，秦国统一巴、蜀后，把一批六国冶铁业家及工匠迁移到四川。如把赵国冶铁大贾卓氏和齐国冶铁大贾程氏迁到巴、蜀。据汉·司马迁《史记·货殖列传》云："蜀卓氏之先，赵人也，用铁冶富。秦破赵，迁卓氏。卓氏见虏掠，独夫妻推辇，行诣迁处。诸迁虏少有余财，争与吏，求近处，处葭萌。唯卓氏曰：'此地狭薄，吾闻汶山之下，沃野，下有蹲鸱，至死不饥。民工于市，易贾。'乃求远迁，致之临邛，大喜，即铁山鼓铸，运筹策，倾滇蜀之民，富至僮千人。田池射猎之乐，拟于人君。"又说："程郑，山东迁虏也，亦冶铸，贾椎髻之民，富埒卓氏，俱居临邛。"为此，卓氏移居临邛后，经营冶铁业，招民开采铁矿，鼓铸钢铁器具，便在蜀滇两地倾售，获厚利成巨富。卓家有僮（奴仆）千人。卓王孙曾送女儿卓文君一份嫁妆，送给僮仆100人和钱100万。程郑亦是临邛冶铁大商，冶铸造铁器，家有僮仆八百，其富有可与卓家相比。由卓氏、程氏等一批冶铁业家迁到四川，他们把先进的冶炼技术和管理方法带到四川，同时引进了大量的资金，自此，四川冶铁业大兴，并成为全国冶铁业著名的地区。

先民利用农具等开凿盐井。铁农具古人称之"农器"或"田器"。它既是农业生产工具，又是大口盐井开凿的工具，因而，对井盐的产生和发展，其功不灭。

在战国中晚期，铁农具在农业上应用较广，基本上取代了非铁农具。其主要特点是制作简便，种类繁多，配套成龙，用途广泛，包括垦耕、播种、耘田、掘土、收获等工具。其中，一些铁农具用于开凿盐井。大口盐井，一般口径大，井深浅（即是像大型的陵州陵井），一口井从开工到竣工，全靠成百上千人工挖掘而成，所用的掘井工具主要是铁农具，如锸，又作"臿"，是农业上的一种常用工具，其功用为"插地起土"，属于"起土工具"类。据说在原始社会末已经有了锸，《韩非子·五蠹》云："禹之王下也，身秉耒臿以为民先。"锸由耒演进而来，其后锸又发展到锹。此具早为木制、石制，到春秋时期，已出现了镶刃式的铁口锸，其形制有"一"字形和"凹"字形两种。战国时期，铁口锸在农业上被大量推广和使用。

锸在盐井凿井和治井工程中，仍是一种重要的工具，用作"插地起土"兼"穿削"。如宋初狼毒陵井，因口径过大，井壁经常摧圮，或泉脉阻塞，严重影响食盐生产。后蜀孟昶广政二十三年（960年），发生盐井淤塞，民难食盐。为了修复这口大型盐井，当时使用的井下修井工具就是"铁锸"。宋太祖乾德三年（965年），"通判、右赞善大夫真定贾琏始建议开浚，亲执锸，兴役逾年而至泉脉。"[13]



即是通官贾琏亲自手执“铁锸”带领役夫到井下进行修治，历经一年余至卤水资源层位，于是，才恢复陵井生产。

此外，还有农器中的铁锄、铁铲等及手工工具中的铁凿、铁锤等都是战国时期农业和手工业中不可缺少的常用工具。同样，先民们仍利用这些铁制工具开凿盐井，挖掘及破碎岩石，然后将碎石提运出井外，不断加深，直至卤水资源地层，终井。

### 三、废除井田制建立土地私有制
### ——为盐井开凿提供了土地资源保障

废除井田制，是商鞅变法的重要内容之一。这一重大举措，随着秦平定巴、蜀，废除奴隶制，建立封建制，于是，在巴、蜀得到了贯彻和实施。据史载：秦王为奖励有功的一些巴人，免征他们应按土地和人口交纳的赋税。[14]这说明，当时在巴蜀地区也实行了秦本土一样的封建土地赋税，确立了封建的生产关系。

土地是发展农业生产的根本，所以历代封建王朝都是以农为“本”。秦国实行改革，废井田，开阡陌，国家承认土地私有，准许土地自由买卖，不仅加速了农业生产的发展，而且，在客观上亦促进了井盐的产生和发展。井盐生产，主要是凿井汲卤，以卤煎盐。而卤水或天然气埋藏于地下，分布在广大乡村的山区或平原，即地质条件具备的地区。为此，凿井时，都要修建地面各种设施（如平井场、安置设备等，古代亦不可缺少），需要占用土地。一眼井占地多少，因井而异，根据建井的规模和生产的大小而定。虽然早期建井没有留下第一手的珍贵的史料，但是我们从川东白兔井遗存下来的生产现场及一些史籍的图像或文字记载，可见一斑。一眼大型盐井，要占地数亩，乃至更多，如陵州（今四川仁寿县）陵井，其口径就达“30丈”[15]（折合公制90多米），再加上地面各种设施，那建井规模庞大，真可想而知了。一眼小型盐井则占地不足一亩，如汉代四川井盐生产画像砖，则反映了当时生产占地的现场。并随着盐井开凿的增加，占地越多。自秦至清（代），四川钻凿了数以万计的盐井①，几乎遍及全川。秦时，在民间为地主和自耕农占有土地，如自家的土地下埋藏有卤水资源，他们可以进行自由开采；但没有土地的民众，为开发地下卤气资源，按照“废井田”的规定，民间可以自由

---

① 关于四川历史上开凿盐井的数目多少，实难以准确地统计，以下仅以几个时代为例。

一、秦至唐代：大口盐井开凿和生产，秦代开始仅有三（个）县，汉代发展到十八（个）县，唐代增加到六十八（个）县，唐末大口盐井开凿达到高峰。据《新唐书》卷五四记载：“唐有……（盐）井六百四十。”

二、宋代：北宋中期卓筒井发明，至南宋发展很快。据李心传《建炎以来朝野杂记》（甲集卷十四）云：南宋绍兴二年，仅以四川二十州县统计，就有盐井“四千九百余眼”。

三、明代：据《明清四川井盐史稿》（四川人民出版社，1984年）记载：“景泰时，（盐井）达一千三百八十余眼。”

四、清代：于清乾隆年间，四川盐茶道林俊推行“听民穿井，永不加课”盐政之后，各地开私井十分盛行。自乾隆至清末，四川民间私井以“成倍”、“数倍”乃“十倍”于官井（课井）的飞跃发展和增殖。清末调查，全川盐井超过了“十万”眼，据李思浩等编《清盐法志》（卷二五三）明确记载：“该省各盐厂内有案可稽者，井八千八百二十一。……现时查出者，井十万八百一十四眼。……其遗漏未经查出者，尚不在内。是私井、灶较原额已不啻十倍。”这里李思浩说：“十万”多口盐井，且“其遗漏未经查出者，尚不在内”。可见，清代（尤其清末）四川开井猛增，盛况空前。由上可证，此说秦（主要是唐）至清代，四川钻凿了数以万计的盐井，确有其据。

买卖土地，“土地自由买卖已经成为正常的、合法的社会现象，参与这种买卖关系的，有平民，也有官僚和贵族。”[1]为此，土地是井盐生产不可缺少的重要条件之一。

这里顺便提及，公元前316年，秦灭巴、蜀后，以大量移民入川，开放盐业，任民开凿盐井和煎制，从中获利。据晋人常璩《华阳国志·蜀志》云：自秦惠文王统一巴、蜀后，“辄徙其豪侠于蜀，资我丰土。家有盐铜之利，户专山川之材，居给人足，以富相尚”。之后，秦始皇时期，仍然实行了比较宽容的盐政，有利于井盐业的发展。

奴隶社会的土地制，扼制了井盐的产生和发展。我国西周奴隶社会，实行的是“井田制”，土地（甚至包括川泽山林）都属于主国家所有，而实际上归周王所有。王室把土地分赐给各诸侯臣下，让他们世代享用。但只有享用权，而无所有权。即是不得转让和自由买卖，并要向王室交一定的贡赋。这土地制度，严重束缚了农业生产和盐业的发展。奴隶制的蜀国，从奴隶制建立到灭亡，大约经历了700多年[14]，而奴隶制的巴国，较蜀国稍晚，但也经历了400～500年。[14]在数百年中，由于奴隶社会的土地制，扼制了井盐的产生和发展，因而，四川地下丰富的卤气资源，没有得到开发和利用。当时产盐的只有少数边远山区，如川东巫溪、忠县中坝等地，古人采集从地下流出地表的淡卤制成盐。或采掘地面出露的少量“咸土”或“咸石”，以溶卤熬盐。由于产盐量很低，远远不能满足社会的需求，大量的食用盐还得仰依池盐运川接济，四川先民“坐在宝山无宝石，手拿金碗讨饭吃”。

### 四、“世平道治”经济发展
### ——为盐井开凿创造了和平的环境

秦灭巴、蜀后，随即实行了一系列的改革和治理，巩固了在四川的政权。这时，四川与全国有所不同，没有大的外战和内战的破坏，社会稳定，经济发展，进入了一个和平和安定的新时期，谓之“世平道治”[4]。因而，促进了井盐的产生和崛起。

#### （一）大型水利工程的修建

秦在四川废除了奴隶制，实行封建制，又奖励耕织，发展农业生产。于公元前255年至前251年，秦派蜀守兼水利专家李冰组织蜀郡广大民众，在四川灌县附近，利用古蜀国原有的设施，修筑了举世闻名的大型水利工程——都江堰。

都江堰工程，设计科学，布局合理，规模宏伟，十分壮观，堪称世界水利史上的一大奇迹。整个工程由分水堰（又名分水堤）、飞沙堰溢洪道及宝瓶口三大主要工程组成。所谓分水堰，位于县西北江心，以竹笼盛满鹅卵石筑成，大堤前端形如鱼头，故名分水“鱼嘴”，它把岷江分成东西两江，西面为外江，是岷江的原流，东面为内江，供灌溉、防洪之用。飞沙堰和水平槽等设施，位于鱼嘴分水堤的尾部，以起调节入渠江河水量的作用，“旱则引水浸润，雨则杜塞水门”[2]。宝瓶口是内江引水的口。为了控制和调节内江的流量，以达到合理的灌溉和用水，“作三石人，立三水中”[2]。作为测知水位的标尺，水位涨降控制在“竭不至足，盛不没肩”[2]。三大主干工程相辅相成，构成了一个完整的水利工程系统，使成都平原大小沟渠河道纵横交错，组成一个扇形水网，大量农田受灌溉之利。秦时灌



溉农田约 1 500 公顷，至新中国成立前夕达到约 4 500 公顷，1998 年增至 15 100 公顷亩今又经过整修、扩建，灌溉面积增到 19 940 公顷。（见王国平著：《都江堰》，成都时代出版社，2007 年）。

都江堰在修建中，制订了“深淘滩、低作堰”及“遇湾截角，逢正抽心”的治水原则，形成了一套行之有效的施工方案，从而保证了修堰工程高质量高水平地完成。

都江堰的兴建，对川西地区经济发展具有重大的作用及其深远意义。《华阳国志·蜀志》云：“冰乃壅江作堋，穿郫江、检江，别支流双过郡下，以行舟船。岷山多梓、柏、大竹。颓随水流，坐致材木，功省用饶；又灌溉三郡，开稻田。于是蜀沃野千里，号为陆海。旱则引水浸润，雨则杜塞水门。故记曰，水旱从人，不知饥馑，时无荒年，天下谓之天府也。”即都江堰有灌溉、防洪、航运三大功用。

（二）大规模地筑城

由于农业的发展，手工业的兴起，商业的繁荣，于是，秦便在四川开始大规模地筑城，营造政治、经济、文化的中心，设置军事堡垒。于惠王二十年，即赧王四年（公元前 311 年），“（张）仪与（张）若城成都，周回十二里，高七丈；郫城周回七里，高六丈；临邛城周回六里，高五丈。造作下仓，上皆有屋，而置观楼射圃。成都县本治赤里街，若徙置少城内城。营广府舍，置盐、铁、市官①并长丞；修整里阓，市长列肆，与咸阳同制”[2]。此外，还有“仪城江州”[16]，即今重庆市。秦臣张仪和张若在四川大规模筑城，以成都为中心，向全川扩展，相继修筑成都、郫城、临邛、江州、阆中等城邑。尤其成都市，扩建府舍，修整街道，开设商店，设置管理盐铁的市官等，使这里出现了一片繁荣景象，其城建筑规模及雄伟，与秦都咸阳几乎相同了。

（三）手工业的兴盛

秦时，四川不仅农业有了迅速的发展，而且手工业亦兴盛起来。如煎盐业、织锦业、冶铁业、采矿业等，当时都具有相当大的规模。在手工业发达的地区，政府专门设有盐官、铁官、锦官等进行管理。

1. 煮盐业

四川产盐历史久远，早在商代，川东地区煮盐业已兴盛了。先民们采集泉卤煎制成盐，并以盐对外作交易，至战国末，川西“广都盐井”开凿成功，便揭开了我国井盐开采史的序幕。秦时，四川的井盐产区有了迅速的扩大，由一县发展到了三县，至汉代增加到 18 县。同时在东汉，我国四川临邛已利用天然气煮盐，成为世界上最早使用天然气新能源的国家。

2. 织锦业

蜀锦是一种驰名的手工业产品，在国内外久负盛誉，远在古蜀国时，成都的织锦业就很发达了。到秦时，“奖励耕织”使四川蚕桑、织锦又有很大的发展。丝

---

① 蜀守张若在成都设置盐、铁市官。所谓“盐、铁市”，即买卖盐、铁的市场，其主要管理官员为盐官、铁官，职责是管理市场交易和征税（如运盐、销售等）。当时没有开凿盐井，因此，不是管理盐井的官。

织品不仅产量大、质量好，而且品种也多，有被面、衣饰、旌旗等，[14]深受中外客商的欢迎。汉时，蜀锦丝织品已远销印度和中亚等地区[14]。

3. 冶铁业

冶铁业是四川一项重要的手工业，它与煮盐业齐名，当时，铁业和盐业是四川两大支柱产业。冶铁技术的发展和铁工具的推广及使用，为盐井开凿提供了先进的工具（这个问题见本节“二”详述）。

综上所述，春秋战国是我国历史上奴隶社会瓦解和封建社会形成的时期。这个时期，四川也经历了由奴隶社会到封建社会的社会大变革。公元前316年，秦灭巴、蜀，同时置巴、蜀、汉三郡，自此，巴蜀地域属于秦统辖的一部分。秦为了巩固在巴、蜀的统治，废除了巴、蜀的奴隶制，实行封建制。采取各种有力措施开发巴、蜀，发展经济和文化。首先，是移民入川，给四川带来了中原地区先进的凿井技术；其次，是战国时期钢铁技术的发展和铁工具的使用，为井盐开凿提供了锐利的器具；再次，是废除井田制，为盐井开凿提供了土地资源保障；最后，是“世平道治”经济发展，为盐井开凿创造了和平的社会环境。正是在这种社会背景下，产生了我国井盐凿井工程技术。

## 第二节　凿井工程专家李冰与我国第一口盐井的开凿

战国末，秦国统一巴、蜀后，便即派去精干的地方行政长官，进驻和领导四川工作。先有秦相张仪和将领司马错，其后为蜀守张若及李冰。当时，他们对巴、蜀落后的奴隶制进行了大规模的改革，促使了社会生产力的大飞跃，为开发巴、蜀，发展社会经济，取得了辉煌的成就，其中蜀守李冰就是一位杰出的代表。他不仅组织和领导四川民众修筑了举世闻名的“都江堰水利工程”，在我国水利史上树立起了一块丰碑，而且他还是我国第一口盐井开凿的倡导者和设计师，成为我国井盐开拓的先驱。自此，便揭开了凿井取卤、开发井盐的历史。

### 一、凿井工程专家李冰

（一）李冰做蜀守的时间

李冰的生卒年月不详。关于他做蜀守的时间，史载不一。晋人常璩《华阳国志·蜀志》云：“周灭后，秦孝文王以李冰为蜀守。”但此说不可靠，据《史记·秦本纪》载：“孝文王除丧，十月己亥即位，三日辛丑卒，子庄襄王立。”秦孝文王即昭襄王之子。公元前251年，昭襄王故，孝文王立；次年十月己亥正式即位，过三天即死。为此，孝文王在位仅有三天，李冰做蜀守不大可能在孝文王短促时期。另据《史记·河渠·正义》引应劭著《风俗通》云：“秦昭王使冰为蜀守，开成都县两江，溉田万顷。”应劭是东汉桓帝至灵帝时人，有“博学多才”的著称，所撰《风俗通》等百余篇，世服博闻，有重要的史料价值，比晋人常璩的著作约早150年，因此，《风俗通》记载较为可信。同时《华阳国志·蜀志》明确记载：周灭后，以李冰为蜀守。查《史记·秦本纪》云，周灭的年代为秦昭王51年（公元前256年），由此可知，周灭后，秦昭王以李冰为蜀守。

（二）李冰的两大功绩



蜀守李冰，不仅是我国战国末杰出的水利专家，同时，又是一名卓越的凿井工程师。他为四川民众做了许多有益的事情，立下了丰功伟绩，尽管生平不详，史籍记载简略，但他为四川留下了两项宏伟工程：一是修筑了驰名中外的都江堰。这项大型水利工程的兴建，大大增强了川西平原预抗自然灾害的能力，使这里免除了水旱灾害，“旱则引水浸润，雨则杜塞水门”。同时，扩大水灌面积，开辟良田，沃野千里，不知饥馑，时无荒年，谓之古今闻名的天府之国；二是开凿了我国第一口广都盐井。李冰在治水过程中，偶然发现了盐泉，如“平南安盐溉”[2]，并从其中得到启迪，同时他善于“识齐水脉”，即根据地质条件，在地下卤水富集地区选布井位。于公元前255年至前251年，在川西成都、双流一带，他创造性地把战国时期的挖井技术，用于开凿了我国第一口盐井——广都盐井。这口盐井的开凿，开创了巴、蜀井盐发展的新局面，亦为后来四川井盐的发展奠定了物质技术基础。

（三）人民对李冰的怀念和颂扬

凿井工程专家李冰，倾听民众呼声，关心人民疾苦，亲自率领和组织民众，凿石劈山，修筑都江堰，引水排灌，穿凿盐井，取卤制盐，使人民安居乐业，丰衣足食，幸福富饶，“蜀于是盛有养生之饶焉”。[2]因而，2 000多年来，四川人民一直敬仰和怀念他，诗人和作家歌颂、赞扬他，他的业绩，世代传颂，人们尊称李冰为“川主”。

汉代为李冰刻石塑像。1974年3月13日，都江堰修建外江水闸时，在鱼嘴外江一侧金刚堤下河底4.5米深处发现石刻李冰像，高2.90米，肩宽0.96米，厚0.46米，体重4.5吨。造型朴祥，神志从容，是一件十分珍贵的文物。胸前刻“故蜀郡李府君讳冰位”字记。石像建造于东汉建宁元年（168年）。都江堰建成400多年后，人们为他刻石塑像，是为了对他永远的崇敬和纪念。晋代著名史学家常璩在《华阳国志·蜀志》中，热忱颂扬了李冰博学多才、精通天文地理、善于识察地下卤水的脉络、穿凿盐井的功绩。南北朝时，为了永远铭记李冰的伟大业绩，人们在玉垒山麓，为李冰塑像和修庙殿祭。殿依山临江，古朴庄重，巍峨壮观，取名“崇德庙”，意思是崇敬李冰的恩德。宋代加以修复，同时，又把李冰治水的助手——李二郎的像塑在前殿祭祀。元代李冰父子都被敕封为王（今有人认为李二郎不是李之子），因此，“崇德庙”就改名为“二王庙”。千百年来，庙宇屡毁屡修，一直屹立在玉垒山麓，人们虔诚肃拜，反映了世世代代对李冰父子为民造福的怀念。现在还能看到的“二王庙”和“川主庙”，也象征着对这位伟大工程师永远的纪念。

无数文人墨客来这里游览、参观，不惜挥毫作诗或撰文对李冰的功绩加以歌颂：

南宋著名爱国诗人陆游，在“二王庙”的石壁上，以“离堆伏龙祠观孙太古画英惠王像”为题，写下了气势磅礴的赞美李冰的诗句：“岷山导江书禹贡，江流蹴山山为动。呜呼秦守信豪杰，千年遗迹人犹诵。决江一支溉数州，至今禾黍连云种。”（收录《陆游集》第一册卷六）

1955年4月，郭沫若先生参观都江堰后，欣然命笔，赞扬李冰“掘离堆、凿

盐井”的业绩，并称他是“卓越之工程技术专家”。郭老题词云：“李冰掘离堆、凿盐井，不仅嘉惠蜀人，实为中国二千数百年前卓越之工程技术专家。离堆所在，或以为乃嘉州乌尤山，余家嘉人也，今至此观宝瓶口，犹余斧凿之痕，谓在嘉州者乃妄说耳。”① 李冰父子为民造福，名垂千古，崇德传万代。

**二、我国第一口盐井的开凿**

四川巴渝地区，早在先秦时期（上可追溯至新石器晚期），人们已经利用陶器盛卤（从地下流出地表的卤水），熬制成盐，供食用或对外交易。

秦国统一巴、蜀后，从秦相张仪到蜀守张若时期，四川广大地区不产井盐。这时，原先秦时期产盐的有些地点，如巫溪大宁盐泉，还有忠县中坝遗址②（又叫羊子岩遗址）等地，先民仍在采集天然卤水，煎制食盐，已成为主业。特别是著名的大宁盐泉，泉卤丰富，至迟从商代至（今）建国后，盐业长兴不衰③。但，巴渝产盐地，古时，属于边远山区，岩石裂缝涌出地面的卤水，因卤淡咸微，加之制盐工具简陋，产制方法原始，于是，盐的生产水平很低，不能满足四川民众的食需。其后，李冰做蜀守时，在治水过程中，发现了川西地下丰富的盐水，并从中受到启示，在“识齐水脉”即“地学”理性知识的指导下，于公元前255年至前251年，在成都、双流一带开凿了我国第一口盐井——“广都盐井”[2]。从而开创了我国井盐生产的肇始，④ 这在四川及我国井盐史上具有划时代的意义。

（一）井盐开凿的原因——四川食盐紧缺

俗话说：开门七件事，米、盐、柴、油、酱、醋、茶。为此，盐，百味之主，食肴之将，是人们日常生活的必需品。由于食盐的珍贵和重要，所以封建国家把食盐作为专控商品，使之成为取之不尽的财源，以充实国库。《汉书·食货志》曰：“田租口赋，盐铁之利二十倍于古。”《新唐书·食货志》云：“天下之赋，盐利居半。”

四川地处内陆，不靠海，不临池，因此，不产海盐和池盐。同时，原早没有开凿盐井，也不产井盐。川东地区有一口大宁盐泉，还有忠县中坝等地，从地下流出地表的（淡）卤水，当时成为巴、蜀产盐的基地而供给民众的食需。大宁盐泉又叫“龙池”，由猎人追击白鹿发现，故名“白鹿引泉”，位于巫溪宝源山下⑤。古时，卤水“出山窦间”，泉源甚旺，势若垂瀑，引卤煎盐。因取卤便利，故起源很早，产盐兴盛于商代。宋代大宁盐泉已成为四川著名的产盐区，呈现兴旺发达

---

① 1955年4月，郭沫若在二王庙的题词。

② 孙华《四川盆地盐业起源论纲——渝东盐业考古的现状、问题与展望》（载《盐业史研究——巴渝盐业专辑》）云：中坝遗址“从东周以来，制盐工业基本上没有中断，直到近代，这里还在使用传统工艺制盐”。由此可以认定：中坝在秦时（秦统一巴、蜀后）还在产盐。

③ 任乃强：《说盐》（载《盐业史研究》，1988年第1期）：“巫山县北之宝源山盐泉，自古迄今，从未衰减。”又说：“灵山盐泉，发现虽早，煮盐远销之利，则盛于商代。”另有专家认为宝山盐泉发现于新石器时期。

④ 从井盐生产的悠久历史看，盐泉与盐井二者有关系，但也有区别。巴渝（川东）地区，初始采集泉卤制盐，最晚始于商代（比川西早）；但采集井卤制盐，据史料记载和考察认定：川东人工凿井、采卤、制盐源于西汉初（比川西晚）。

⑤ 川东大宁盐泉，作者曾亲赴现场实地考察，其泉卤采集、分孔计量（卤水）、竹枧输送、土法制盐等，与史料记载基本相同。



和繁荣景象。因而，引起了诗人、文人的关注。南宋爱国诗人陆游《老学庵笔记》（卷五）写道："蜀食井盐，如仙井（系四川陵州陵井——作者注）大宁，犹是大穴。"宋·马端临《文献通考》（卷十六）中说："大宁、富顺（即今自贡——作者注）之盐井……长宁之淯井，皆大井也。"同文献（卷一百八十一）又说：大宁监产盐，"一泉之利，足以奔走四方"。"蔦梁蜀之东，为水陆之会"（同上文献卷一百六十七）。大宁盐泉地处川东，临近长江，可见，当时在四川，无论经济或社会方面都处于重要地位。北宋初，太宗端拱元年（988 年），四川产盐量大幅度下降，产不敷销，川西缺盐，大闹盐荒，令商人贩大宁盐到成都等地销售。

大宁盐泉，是不费人工的天然源泉，卤水咸淡随自然季节变化，受大气和地表雨水的影响，冬春旱季卤水咸重（约 7Bé），夏秋雨季卤多咸轻（约 0.3 ~ 0. 8Bé）。每年生产时间 6 ~8 个月左右。

由于历史久远，秦国统一巴、蜀时期，川东大宁盐、中坝盐等的产量无从查寻，故今不得而知。宋初，大宁泉卤产盐为兴旺时期，在全川名列前茅，如宋神宗熙宁中（1069—1077 年），岁额产盐"四百余万斤"[17]。仅以此为例，推算巴、蜀时期，四川民众食盐用量情况。当然，由于社会的进步，生产力的发展，泉盐产量先后有变化，即宋初的产盐量，不全代表巴、蜀时期的产盐量，但可窥见一斑。

秦灭巴、蜀后，四川再无大的战乱，处于和平安定的时期，史称"世平道治"。同时，由于大量移民入川和社会经济迅速发展，大大刺激了人口的增长，于是，秦灭巴后，人口增殖"一百六十万"左右[4]。在此，我们可以推算，四川在未凿盐井以前，民众依仰大宁盐供需情况，若以大宁年产盐 400 万斤，四川人口 160 万测算，则每年每人平均用盐 2. 5 斤①。另外，请注意下面两点：

第一，当时，四川产盐除主要的大宁盐外，如加上中坝等地产的食盐（缺文献记载），即是（估计）盐产量再加二分之一（200 万斤），共计 600 万斤，人口仍以 160 万推算，每年人均食盐用量 3. 75 斤①（不足 4 斤盐），供民众食用，差之甚半。

第二，大宁盐区，北东邻接湖北，北西靠近陕西，因此，本区盐除主要供给巴、蜀外，历史上还要销售到湖北秭归、恩施等县及陕西部分地区。

食盐的紧缺，民众苦于淡食之中，即使从山西运来池盐，由于受四川道险地理条件的限制，加之路途遥远，盐价昂贵，广大人民也是难以购买的。

（二）我国第一口盐井的开凿

古时，四川地荒人稀，水旱灾害频繁，经济落后，古称"西僻"之地。秦国统治四川时期，李冰为开发"西僻"作出了重大贡献。都江堰的建成，把原来川西水旱多灾的地区变成了"沃野千里"的米粮仓，民众得以足食。但是，四川人民长期缺盐，饱受淡食之苦。于是，李冰又开盐井，采卤制盐，以满足民众的食需，从而缓解了人民缺盐淡食之苦。自此，盐井在四川广大地区如雨后春笋般地发展起来，食盐不仅做到自给自足，而且还有余，余盐还远销云、贵等省部分地

---

① 年人均用盐 2. 5 斤，3. 75 斤，供参考，可能秦统一巴、蜀时，还达不到这个标准。





区。四川先民开始结束了完全仰依自然盐泉、“咸石”获取食盐的历史。开创了人工凿井、采卤及制盐历史的新篇章。

关于李冰开凿盐井，盐史界有争议，主要有三种意见[18]，一种意见认为，盐井开凿属于偶然性，即人民在打水井时，出现盐水，乃命名盐井；另一种意见认为，是四川人口增多，食盐需要量大，大宁盐、咸石盐或从远道运来的池盐不够食需，因而，在川内打井找盐；再一种意见认为，都江堰工程和盐井开凿，两者之间存在一定的密切关系。我们则认为，把第二及第三种意见合二为一，即李冰开凿盐井，其目的是满足民众食盐的急需，并非偶然。同时凿井与治水有一定的内在联系。总之，就广都盐井的开凿而言，不是孤立的和偶然的现象，而是与该区地质条件及开凿技术条件紧紧联系在一起的，主要表现在以下三个方面。

1. 川西平原地下卤水埋藏丰富为盐井开凿提供了物质资源保障

据地质勘探成果证实，在成都平原川西凹陷内，第三系及白垩系地层中，赋存着丰富的卤水、芒硝、石膏矿产资源，其中卤水含盐量100克/升左右。并在一些地区卤层埋藏较浅，埋深在20～30米。得天独厚的盐卤资源，为我国第一口盐井问世，提供了重要的物质条件[19]。

2. 李冰治水发现了地下卤水为盐井开凿做了先导

李冰做蜀守时，大兴水利，凿离堆，避沫水之害，穿二江成都之中，引水灌良田，使川西平原“沃野千里”，成为蜚声中外的天府之国。[2]都江堰工程浩大，雄伟壮观，在修筑过程中，实施方案，采取“遇弯截角”“深淘滩”“低作堰”等有效、实用的技术措施，亦即采用疏导和筑堤并举的方案。为此，在导水“截角”“淘滩”“筑堤”的过程中，亦因开凿和发掘出岩石，便揭露了地下浅层卤水资源，如李冰在疏导青衣江工程中，新发现了地下卤水，史志等就有明确记载。

据晋人常璩《华阳国志·蜀志》载道：在南安县（今四川乐山、夹江一带）青衣江①又名沫水，石滩有“盐溉”，由李冰所平矣。北魏郦道元《水经注》亦云：江水“东南迳南安县西，悬溉有滩……曰盐溉，李冰所平也。”[20]“盐溉”即自然盐泉，地下卤水在地表的露头。但因其在青衣江中的石滩有碍江水畅流，航行困难，舟船常出故障，于是，李冰整治水道，开凿河中滩石，便于航行和引水”[2]。为此，虽有盐泉而还是把这个滩平掉了，故名盐溉滩，即是盐泉滩。李冰治水发现了地下卤水，为盐井开凿做了先导。

3. 李冰“识齐水脉”[2]开凿盐井

李冰是战国时期著名的水利和凿井工程专家，他学识渊博，精通天文地理，“识齐水脉”，率领民众成功地开凿了我国第一口盐井。

李冰在治水中，新发现了盐泉，即地下卤水自流出露地表，给人们传递了信息，以提示了川西蕴藏着丰富的卤水资源，因而，给当时治水的主持者和领导者李冰以重要的启示，川西是一块宝地，在地面，都江堰的建成，获得了巨大的水利资源，把水旱频繁的成都平原变成了粮仓。而同时又在地下，还埋藏着宝贵的盐水资源，便可凿井采卤，以卤煎盐，缓解蜀人缺盐淡食之急。于是，李冰“识

① 青衣江又名沫水，发源于蒙山，先是成为地下河，到南安（今四川乐山）流入岷江。



齐水脉”，即是根据地质条件，考察地下卤水的分布规律，并亲自跋山涉水，探岩寻壑，识察卤脉。根据“依山可作井，隔沟不同脉”的民间经验，终于在川西成都、双流一带，寻查出了地下浅部含卤层。同时，他创造性地应用了中原地区打水井的技术和推广铁工具的使用，有目的地开凿了我国第一口盐井——广都盐井。广都盐井的问世，便揭开了我国井盐生产的序幕。从此，盐井在全省各地迅速地发展起来，秦代三县，汉代增至18县。李冰为蜀地造福，粮食丰盛，凿井产盐，人民富饶。四川千百年来享誉“天府之国”的美称，所以四川人民永远铭记着他。

（三）关于早期盐井生产的方式

广都盐井是我国最早开凿的第一口盐井，由于历史久远，这口盐井没有保存下来，因而，关于卤井的形制、井身结构、地面设施、生产方式等都不得而知。但是，我们从四川先后出土的汉代井盐生产画像砖图像得到佐证①。画像以逼真、细腻、生动的艺术形象，再现了汉代井盐生产的工艺流程，为研究四川早期凿井工程技术，提供了实物凭据（见图3－1）。

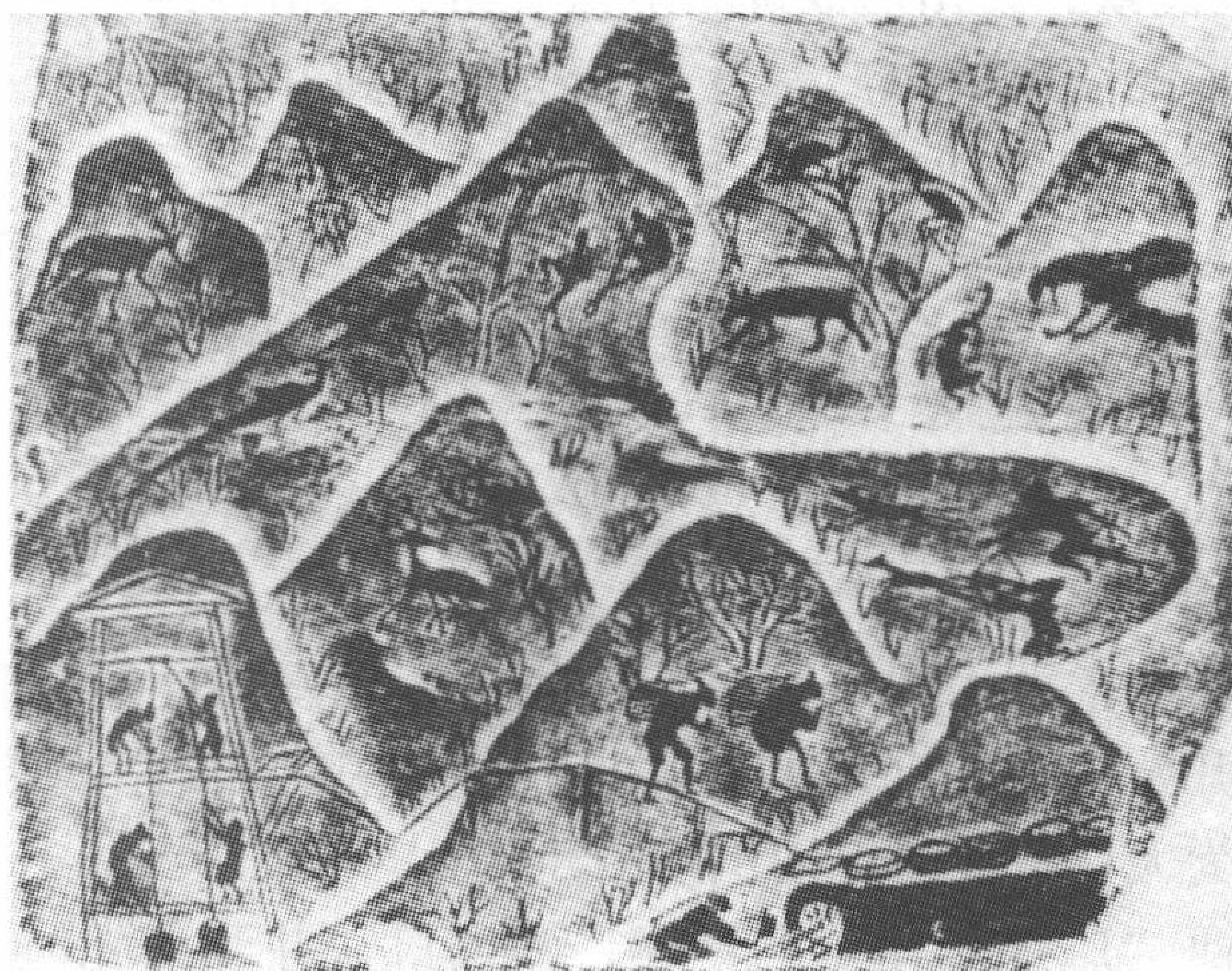


**图3－1　楼架采卤　东汉井盐生产画像砖（四川郫县出土）**

**采自：《四川文物》1984年第2期**

画像砖在群山茂林、野鹿奔跃、人伐柴薪的背景下，左前方山脚附近，展现出一口盐井。井口地面矗立着四柱双层楼架（即井架），盐井右侧设灶制盐。从图像看出，盐井呈圆形，井口直径2米左右，并根据川西地下含卤层埋藏情况推算，盐井深度最浅是在20米以上②。很显然，其井形是借鉴了战国时期古井的优点设

① 四川先后（四方）出土的东汉井盐生产画像砖，其画面大致相同。邛崃县和成都西郊出土的两方画砖，见闻宥：《四川汉代画像选集》，群益出版社，1955年；刘志远：《四川汉代画像砖艺术》，中国古典艺术出版社，1958年。二者画面均残缺。成都北郊羊子山一方出土的画砖，图像较完整，见刘志远等：《四川汉代画像砖与汉代社会》，文物出版社，1983年。郫县一方出土的画砖，右下角有一点缺失，但整个画面清晰，如上楼架采卤图，见《四川文物》，1984年第2期。

② 关于盐井深度有两种认识：一种认为，按绳长1/4计，比人身高略多一点，计井深2米左右；另一种认为，凿井取卤，依川西地下浅层卤水的埋深计算，则井深应在20米以上。作者取后者。

计的新型盐井。

图像还可以看到，四柱双层采卤楼架，上略窄、下稍宽，似如宝塔形，按人身高测算，楼架全高 8 米左右。楼架上端为尖形顶篷，显然是为遮蔽雨露和日光而设置的形制，其下横木上安装一定滑轮，轮上系一根提卤绳索，绳索的两端分别悬吊一个采卤桶。上下两层楼架，四人分左右两组作业，拉起绳索，交替进行，动作配合协调，提取卤水，然后倾入木制的容器里，用竹笕（枧）输往盐灶煎制。利用定滑轮采卤，虽然不能省力，但改变了力的方向，减轻了劳动负荷，提高了工效。它是中原地区辘轳提水原理的应用和发展。

综上所述：李冰是我国战国时期卓越的凿井工程专家和水利专家，他在做蜀守时，为四川人民做了许多好事，但是，今遗存下来的主要有都江堰工程的兴建和广都盐井的开凿两大功绩。由于川西地下卤水蕴藏丰富，为盐井开凿奠定了坚实的物质基础。李冰在治水过程中发现了地下浅层卤水，又为盐井的开凿做了先导。同时，他知识渊博，精通天文地理，即天（文）学和地学，善于“识齐水脉”，并亲自率领民众，在川西成都、双流一带，创造性地应用中原地区的打井技术，成功地开凿了我国第一口广都盐井，这为我国井盐生产开了先河。自此，四川凿井煎盐，民众获得食盐。都江堰的建成，把成都平原水旱灾害频繁的地方，变成了米粮仓，人民富裕幸福，著称“天府之国”。李冰造福于人民，千百年来，四川人民“世代怀念他，颂扬李冰父子“崇德”的高尚。

## 第三节 我国大口盐井的发展

我国大口盐井源于古水井。据史料记载和考古发现证明，我们的祖先早在原始社会后期，已开始凿井和利用地下水了。至战国时期，凿井技术有了长足的进步和发展，从而为大口盐井的开创积累了经验。

战国末，川西“广都盐井”的创建，为大口盐井开了先河，至汉代，大口盐井有了大发展。同时，凿井工程技术已臻成熟，如东汉大型盐井——陵井开凿成功，代表了这一时期凿井技术新的水平。到唐代，盐井数量猛增，产区扩展到全川 68 县，大口盐井发展达到鼎盛。北宋初，大口盐井走向衰落，被新型的卓筒井逐渐取代。

大口盐井系全靠人工手持铁工具，于井下挖掘而成。但由于各地自然条件的差异，因此，凿井极不规范，口径大小不等，井的深浅不一。这一时期，反映了大口盐井在发展和演变过程中的特点。并按凿井工艺及井身结构的不同，大口盐井可分为束腰式、木桶式及坑池式盐井三种基本类型。为此，关于我国大口盐井的发展，现述于此。

### 一、大口盐井溯源

**——先从古水井谈起**

根据井盐发展史证实，大口盐井源于古水井。故，为追溯盐井的起源，先得从古水井谈起。

当人类社会达到定居和耕种阶段时，人们为了生活饮水和农业灌溉的需要，



于是，在挖掘出洞穴的基础上发展到凿井、采汲和利用地下水。所谓“日出而作，日入而息，凿井而饮，耕田而食[5]，恰是反映了初民时期的生活、生产及凿井活动。

原始社会的水井。依据史料记载和考古发掘证明，早在原始社会时期，我们的祖先就能打井，开发地下水源了。1976 年，考古工作者在浙江余姚县河姆渡遗址（距今约 7 000 年了）发现的一口水井，井口呈方形，每边长约 2.0 米，井深 1.35 米[21]，由此已得到了确证。比浙江河姆渡遗址晚的龙山文化时期的水井，如 1975 年至 1976 年，在河南洛阳矬李遗址发现了圆形水井一口，口径 1.6 米，井深 6.1 米（还不到底）。第三期属河南龙山文化晚期，属洛阳王湾三期。第四期为前 2 010 ± 145 年[22]。1976 年至 1978 年，又在汤阴县白营遗址发掘出了一口用木构成“井”字形的水井。约属前 2100 年[23]。这一时期的水井，还在河北邯郸地区发现了两口，井深约 7 米，口径 2 米左右[24]。由此说明，龙山文化时期，凿井和利用地下水，在我国较为普遍。尤其在龙山文化中晚期的夏禹之际，人们遭受了重大的河患。为减少河患对人们的威胁，有的部落群体，远距河域而生活、生产，从而促进了凿井技术的发展。

商周时期的土井。商周时期，由于农用灌溉和饮水的增加，因此，凿井开采地下水更为普遍。如，郑州中商时期的二里岗遗址，发掘了数口土圹水井，井口呈长方形，深度均超过了 8 米[25]。又如，在新郑县城关的周代郑韩故城遗址中，发现的土井有圆形和长方形两种，其中在新郑城关白庙范沈庄的土井，圆形，井深8.38米；东关外制药厂内的土井，长方形，井深约 5.4 米[26]。此外，商周时期的土井，又在河南偃师二里头遗址[27]、河北台西遗址[28]中均有发现。

战国时期的陶井。这一时期，随着社会生产力的提高，铁制工具的普遍推广和应用，因此，水井有了突飞猛进的发展。同时凿井技术也有了新的提高，还出现了一种新式的水井——陶井。据楚纪南故城（系今湖北省江陵县境内）探查证实，该城古井分布广，且数量多，几乎在夯土台基处皆有古井发现。如，仅在一条长 75 米、宽 15 米的狭小范围内，就发掘出 19 口古井。“古井均圆形，直径 0.7 至 1 米左右，深 3 至 7 米上下。”[29]经考古鉴定，这些井是战国早期开凿的，可分为水井和窖井两大类。若依井圈材质又分为：陶井、木井或上陶下竹井等。河南新郑县亦发现 20 多眼水井[26]。井分两类：一是周代的土圹井；二是战国中晚期的陶圈井（简称“陶井”）。陶井为正圆形，出现在战国后期。陶圈是特制的，呈正圆圈形，每圈高 0.31 米左右，直径 0.60 ~ 0.83 米。内饰旋纹，外饰绳纹，泥质灰陶。陶井的结构为，凿井时，先在地下挖出圆形的土圹井，然后用特制的陶圈，由下而上一圈一圈地重叠于井内，成圆形垂直的井筒。井圈套叠多少，由水井的深浅决定。土井与陶圈之间的空隙，用土石或碎陶片填实。此类井的优点：可防止井壁的崩塌，确保汲水的安全及延长井的使用寿命。战国时创造的陶井，至西汉获得普遍的推广，并有了新的改进。到了东汉，由于泥砖广泛的应用，水井改用砖砌，于是，砖井逐渐取代了陶井。

汲水机械。水井凿成，为人们提供了丰富的地下水源，但是，要利用地下水，还得采用汲水机械抽汲到地面。从原始社会到战国的汲水机械主要有：一是汲水

罐。早在仰韶文化时期，制成的小口尖底瓶，系绳索汲水。到龙山文化时期，为便利井下提水，改成平底罐和圆底罐。二是桔槔。西周发明桔槔，其构成主要是利用杠杆原理。以一根长竿从中间架起或悬吊着，在竿的一端至汲水容器，另一端拴石块，汲水时，一俯一仰，灵巧地把井里的水提到地面，既省力工效又高。三是滑车。为提高汲水量和提取深井用水，于西周时，劳动人民创制了滑车。这种汲水机械比桔槔先进。四是辘轳①。又比滑车进步，古代普遍用于提取井水及农田灌溉。直至今天，有的地区仍在应用。

我国水井的开凿技术，从原始社会到战国时期，有了长足的进步和发展，这为四川开凿盐井创造了条件。

**二、大口盐井的发展**

大口盐井的发展（即大口盐井阶段），从秦代末到北宋中期，历时约 1 200 余年。在这个阶段中，它的发展和演变，可概括为大口盐井生产从秦代开始，汉代大发展，唐代达到鼎盛，北宋初走向衰落。

（一）秦代大口盐井的问世

战国末年，随着秦国在巴蜀地区封建制度的确立和巩固，社会经济的发展，铁工具的推广和使用，北方中原地区先进的打井技术的传入，于是，秦派蜀守李冰组织四川人民，在成都、双流一带创建了我国第一口盐井，即“广都盐井”。自此，开创了我国井盐生产的肇始。史云：秦昭王“以李冰为蜀守，……穿广都盐井，诸陂池、蜀于是盛有养生之饶焉”[2]。秦时，四川井盐产地有广都（今双流）、安南（今乐山境内）、雒县（今广汉县），计三县，分布在成都平原。由于历史久远，这些盐井遗址未能保存下来，加之史料记载简略，因此，其打井技术今难以考究。推知，盐井建造方法类似水井，属于大口盐井的雏形，如，川西出土的陶井，亦是中原地区先进的凿井工艺传入四川的结果[5]，以此佐证。

（二）汉代大口盐井的大发展

两汉时期，不仅在社会政治、经济上是我国历史上的一个高峰，而且在科技上也是光辉灿烂的时代，如，在造纸、地学、医学等各方面都取得了突出的成就。两汉 400 余年间，也是我国大口盐井蓬勃发展的时期，产盐区的扩大、凿井技术的提高、采卤机械的改进，从而开拓了我国井盐生产的新局面，创造了井盐史上的奇迹。

1. 汉代四川盐区（盐井）迅速的扩展

两汉时期，四川井盐生产有了大发展。产区由秦代三个县，至汉代迅速发展到 18 个县，从而盐区由川西平原逐渐扩展到全川。据史实记载，这些盐区有广都县、南安县、成都县（今四川广汉市）、巫县（今巫溪县）、朐忍县（今云阳县）、临江县（今忠县）、南充国县（今南部县内）、郪县（今三台县）、江阳县（今泸州、富顺、自贡等）、汉安县（今内江县）、南广县（今盐津县）、定笮县（今盐源一带）、武阳县（今彭山县）、临邛县（今邛崃县）、牛鞞县（今简阳县内）、什邡县、汉发、汉阳，计 18 县[30]。

---

① 尚未见考古发掘材料，其发明至迟不晚于西周。



这一时期，上述各县先后均开凿了盐井。同时，每一产地凿井数量也有较大的增长，如汉安县“有盐井、鱼池以百数所”，汉宣帝地节三年（公元前67年），曾一次便“穿临邛、蒲江盐井二十所”，可算是大规模的凿井活动了。又在著名的产盐区临邛、朐忍及南安等设有专职盐官，加强对卤业的统管。盐官的专设，也反映了汉代井盐业的发达和兴盛。

2. 盐井开凿规模宏大

两汉时期，不仅盐区扩大，井数增多，而且，盐井开凿规模宏大，尤其东汉盐井，向地下纵深开拓，有了突破性的进展。东汉道教始祖张道陵（约34—156年）在四川陵州（今仁寿县）所开创的陵井，著称大口盐井的典型。“益都盐井最多，此井最大，以大牛皮囊盛水引出之，役作甚苦。”[15]此井口径“三十丈”，井深达“八十丈”[15]，其井型规模宏大，是大口盐井的出色代表。它是我国也是世界井盐史上最大的和最著名的一口盐井。

东汉章帝时（76—88年），江阳县富义盐井（在今自贡市富顺县境内）开凿成功。井深“二百五十尺”（又说“三百尺”），以达盐泉，煎之成盐，“月出盐三千六百六十石”。（见〈唐〉李吉甫《元和郡县志·剑南道下·泸州》）东汉富义井凿井深度“二百五十尺”，其井深仅次于陵井，但仍属于一大口型盐井。

3. 采卤机械的进步

汉代，由于盐井口径加大，井深增加，这时，为适应大型盐井生产技术的需要，因此，对采卤机械进行了重大的改进，比起中原地区水井采用辘轳、滑车汲水更为进步。东汉陵井采卤设施记载不详，乃以唐宋时期还在生产的巨型盐井——狼毒井为例。此井采卤机械，地面侧设大车（绞车）进行提升，由井底至井口地面置“柏木为干”，即一种“井架”作支撑，大皮囊盛卤，因此，采卤量高，出盐甚多，日收益“3 421斤”（折今约两吨）。当时，这是一种先进的采卤机械。

4. 汉代火井的开凿

汉代，不仅有盐井，而且有火井（即天然气井）。四川地区，由于地下卤、气资源共生，于是，往往在开凿井盐过程中，发现天然气，气卤同井开采，或气井单独开采，井深者达“六十余丈”[31]。天然气除供人们生活用气外，还用于工业煎盐。

（三）唐代大口盐井的鼎盛

唐代是我国封建社会繁荣的时期，这一时期，由于生产力的提高，社会经济的发展和繁荣，井盐生产达到了鼎盛。

1. 唐代井盐生产的分布

在唐代的盐业（包括海盐、池盐、井盐等）生产中，井盐生产是一个重要的组成部分。根据我国著名的地质学家章鸿钊（1877—1951）考证，唐时的井盐生产主要分布于我国西北和西南广阔地域。他在《石雅》中云：“除《唐书》所称莱（今山东掖县）、沧（今天津市沧县东南）二州地属东北（山东、河北）外，余均萃于雍（陕西、甘肃）、梁（包括四川）二州之境。尤剑南（今四川省）为多。”[32]唐时，井盐生产虽出没于中国西北与西南，但其中以西南为主，而西南又以四川为最重要，其次是云南。从我国井盐开发史看来，四川井盐生产，无论是





在唐代，或这以前或以后，井盐开凿之多，分布之广，凿井技术之高，远非他处可比拟。因此，四川井盐生产代表了我国井盐生产发展的水平。

2. 唐代四川大口盐井发展的鼎盛

突出表现在两个方面：一是盐区遍及全川；二是盐井开凿猛增。现简述如下。

（1）四川盐区广布

在我国大口盐井发展阶段，盐井分布地区，虽不限于四川，但历经秦、汉、隋至唐代，其中，尤以唐代四川境内盐井数量最多，盐区分布最广，则属于大口井盐极盛时期。四川秦代产盐区仅有三县，汉代迅速发展到18县，唐代达到鼎盛增至68县[33]。这些县有：大昌县、临江县（今四川忠县）、云安县（今云阳县）、南部县、新井县（今南部县境内）、新政县、郪县（今三台县）、涪城县（今三台县境内）、通全县（今射洪县内）、玄武县（今中江县内）、飞乌县（今中江县东南）、平泉县（今简阳县内）、阳安县（今简阳县内）、富义县（今富顺县）、公井县（今自贡市内）、旭阳县（今荣县）、应灵县（自贡市内）、龙水县（今内江地区内）、银山县（今内江地区内）、内江县、和义县（今内江地区内）、昌明县（今盐源县内）、昆明县（今盐源县内）、彭山县、籍县（今彭山县境内）、罗江县、神泉县（今绵阳市内）、南浦县（今万县地区内）、盐亭县、永秦县（今盐亭县内）、巴西县（今绵阳市内）、奉节县、仁寿县、贵平县、始建县、井研县、巴东县、彭水县、南充县、宣汉县、万岁县（今开县内）、开州（今开县内）、阆中县、相如县（今蓬溪县内）、西充县、蒲江县、火井县、石盘县（今资中县）、资阳县、卢山县（今雅安县）、薛城县（今会理县）、开边县（今高县）、义宾县（今宜宾县）、方义县（今遂宁县）、长江县（今遂宁县内）、安岳县、乐至县、巴县、璧山县、江安县等。上述产盐各县（州），其分布地区和范围，东至云阳、巫溪等；西至盐源、雅安；南抵高县、长宁；北达阆中、南部等。从而形成了以云阳和巫溪为代表的川东盐区；以富义和公井为代表的川南（自贡）盐区；以南部、阆中为代表的川北盐区；以盐源、雅安为代表的川西盐区。由于川东、川南、川西、川北盐区的形成，因而，产盐区广泛分布于四川各地。

（2）四川盐井猛增

蜀省大口盐井，在秦汉的基础上，到唐代有了突飞猛进的发展，出现了一个高峰。据《新唐书·食货志》记载："唐有……（盐）井六百四十，……黔州有井四十一，成州、巂州井各一，果、阆、开、通井百二十三，山南西院领之。邛、眉、嘉有井十三，剑南西院领之。梓、遂、绵、合、昌、渝、泸、资、荣、陵、简有井四百六十，剑南东川院领之。"为此，唐代有盐井"六百四十"口，大口盐井开凿达到了鼎盛时期。

总之，我国的大口盐井，遍及西北与西南，但主要集中于四川。四川大口盐井，从秦代开始，产区仅3县，至汉代有了大发展，增至18县，到唐代达到鼎盛，产区扩展到68县，盐井猛增至"640"口。北宋初，大口盐井逐渐衰落。

关于盐井开凿技术方面，秦时盐井类同古水井，属于大口盐井的雏形。进入西汉后，凿井技术有了较大的改进，东汉时，已臻成熟，盐井向纵深发展又有重大的突破，大型盐井相继出现。唐末宋初，盐井向地下没有进一步发展，如当时



还在生产的狼毒井，深度达“五百七十尺”。基本上保持了大型盐井的规模。自此，大口盐井走向下坡，逐渐被卓筒井新工艺取代。

**三、大口盐井的种类及特点**

大口盐井（包括油气井）都是在古水井的基础上发展起来的。它的发展和演进历经了漫长的岁月。这类盐井，盐史中有大量的记载，其数量繁多，井身结构各异，凿井极不规范。由此形成了大口盐井的种类和特点。

（一）大口盐井的种类

大口盐井井形和规格不一，凿井工艺繁简各异，或以大量挖方作井，构木为（井）壁；或凿石建井，裸（井）眼采卤；或围泉筑口，稍事加深成井。为此，根据凿井工艺和井身结构形式，大口盐井可划分为束腰式盐井、木桶式盐井、坑池式盐井三种基本类型。

1. 束腰式盐井

此类盐井，即上下井径大，中部井径小，谓之“束腰式盐井”，史称“杖鼓腰”，如狼毒（陵）井，皆属这一类型。北宋科学家沈括在《梦溪笔谈》中，对束腰式盐井做了形象的、生动的描述：狼毒（陵）井“井深五百尺（又说“五百七十尺”），皆石也，上下甚宽广，独中间稍狭，谓之‘杖鼓腰’”[34]。

至于东汉张道陵在四川陵州率领民众开凿的陵井，其井形是否与狼毒井相同，史籍未有明确的记载。不过，陵井停废后，新开的狼毒井，可代替陵井，二者均属于大型盐井，按大型盐井的设计和开凿方式，有类似之处。这类盐井，凿井工程浩大，全靠成百上千的劳动者，在浩瀚阴深的井下用农业工具锸、锄、锹等挖凿而成，所耗人力、财力、物力巨大。

2. 木桶式盐井

即以木板制成表层套管（或导管），类似外圆内空无底的木桶形，下入井内，构成井壁，隔绝地表淡水和防止岩层垮塌，故名“木桶井”，又称“立桶井”。关于木桶式盐井，郦道元在《水经注》卷三十三“江水”中云：“北流迳巴东郡之南浦侨县西，溪硖侧盐井三口，相去各数十步，以木为桶，径五尺，修煮不绝。”[20]又如，（明）曹学佺著《蜀中名胜记》“夔州府一”（奉节县附郭）中说：“八阵图下东南三里有一碛，东西一百步，西北广四十步。碛上有盐泉井五口，以木为桶，昔常取盐，即时沙壅，冬出夏没”[35]。再次，曹学佺著《蜀中广记》中还述道：“筠连县远二十五，亭台山，像若亭台状，溪边有盐井，即木桶井。”[36]木桶井最早在南北朝时发明，对后来宋代卓筒井工艺的开创，乃至明清时期深井中的“木柱”套管研制成功都有借鉴作用。

3. 坑池式盐井

这类盐井地势低洼，口径大小不一，据《山东盐业志·沿革》云：山东井盐生产始于唐代，直到新中国成立初仍利用大口盐井采卤制盐。“大口井呈圆形或椭圆形，圆形直径 30～80 米，椭圆形宽 30～60 米，长有数百米。”可见，这种大口盐井，口径特大，类同“盐池”。另据《古今图书集成》记载：“火井在蓬溪县伏龙山下，地洼若池。”[37]再据《四川盐政史》记载：“奉节（县）盐井，系在河中，旧时用石砌为方塘，水退井出，挖水泥砂，即可取卤。”[38]

（二）大口盐井的特点

大口盐井上起战国末，下至北宋初，上下1 200余年。大口井的开创和发展，掀开了我国井盐的历史，同时凿井技术具有承上启下的作用，即上继承了古水井的优点，下为卓筒井的发明积累了经验，创造了条件。这一时期，大口井主要的特点如下。

1. 凿井工具

战国时期，冶铁的发展和铁制工具的使用，为大口井的开凿，提供了锐利的器具。这些利器有锸、锄、铲、锤等。

2. 凿井规格

大口盐井凿井规格，主要由地下卤气资源埋藏的深浅和采卤方式而定。集中表现为两点：第一，凿井口径大小不等，大至口径“30丈”，望之若“池”，小到井下仅能容一劳动者，于井下猫身作业；第二，盐井深浅不一。井浅者1～2丈（约3～6米），深者“80丈”。这种大型盐井，开凿艰辛，工程浩繁。

3. 人工挖井

大口盐井系全由人工手持铁制工具，于井下挖凿。井的进度与人工挖掘同步，直达含卤地层，挖井用人多寡，仍由井型而定。巨型盐井，每凿一井，一日要投入数百人至上千人，并经十余年艰辛的挖凿，方能大功告成。挖井时，成百上千的人如蚁，挖凿、提升、挑运、卸土等，构成了一幅十分壮丽的图景，反映了先人们改造自然、利用自然的英勇气概。

4. 井身结构

大口井凿井地层“上土下石”，即全井身大致分上下两大段。在井身上段的松软地层，一般采用木板（或木枋）构筑井壁，以防岩土垮塌及隔绝浅层淡水入井；井身下段为坚硬岩石，含卤地层。为此，根据凿井工艺，井身结构如前述及，有束腰式、木桶式及坑池式三种基本类型。

5. 采卤方式

由于大口井时期，盐井开凿极不规范，于是，采卤方式因地而异，因井而异，无统一的方法。采卤时，大型盐井，如束腰式狼毒陵井，在地面井口侧设大（绞）车，井下立“干”（即井架），系大皮囊盛卤。小型盐井，有置辘轳，或设车盘，或立楼架悬吊木桶提卤。坑池式盐井，直接从坑池中取卤。还有用把桶、木龙从井里汲卤等各种方式。采卤动力为人力。

唐代大诗人杜甫，于唐肃宗乾元二年（759年十二月）从秦州（今甘肃天水市）出发入川，他在甘肃西和县见到的盐井“皆大井也”。于是，挥毫写下了著名的《盐井》诗。诗中有“汲井岁搰搰，出车日连连”的绝句[39]。形象地描绘了大口盐井推汲卤时，盐工们终年辛劳的情景。

## 第四节　世界凿井工程史上的奇观——陵井

我国大口盐井，创始于战国末年，汉获大发展，唐臻于鼎盛，北宋初日暮衰落，被“卓筒井”新工艺所取替，历逾1 200多年之谱。在大口盐井阶段，四川开



凿“盐井甚多”，惟“此井（陵井）最大”[15]。《光绪井研志》卷六也述道：大口井以“武阳陵井最著”，相传有盐井“王”之颂。陵井的开凿成功，是我们伟大的祖先向地下索取卤水自然资源，战天斗地，响彻云霄的一曲凯歌，标志着我国大口盐井的开凿技术在当时已达到了世界高峰阶段（自此以后，我国再也没有一眼大口盐井赶上或超过仁寿陵井的宏伟规模），这与我国北宋庆历、皇祐年间（1041—1054 年）“卓筒井”的发明、清道光中叶出现超千米深井一样，具有同等重要的世界意义。可以说“陵井”的开创、“卓筒井”的发明及清代超千米深井的出现，在我国和世界井盐发展史上，属不同时期、不同阶段的三块丰碑。为此，对于我国古代大口盐井的研究，首先是对陵井和狼毒（陵）井的研究，具有重大价值。

**一、陵井是一口特大型盐井**

所谓“特大型盐井”，此系不仅盐井井型巨大，盐卤产量高，而且设施庞大，机械采卤先进。同时，盐卤产量高的主要原因，又与该井的地质因素、井型巨大、先进的机械是紧密相关的。

（一）盐井规模巨大　盐卤产量为益都各井之首

陵州陵井是我国大口盐井的典型代表。公元前 3 世纪到公元 11 世纪初，是大口盐井阶段。这个阶段的盐井，数量繁多，遍及全川，唐末宋初，极盛一时，有盐井“640 口”。但是，盐井口径大小不等，深浅不一，一般井深由数米至数十米，井径 2 ~ 4 米。而陵井规模巨大，则属于一口特大型盐井。唐李吉甫（758—814）《元和郡县志》云：“仁寿县陵井纵广三十丈①，深八十丈，益都盐井甚多，此井最大。”[15]堪称我国和世界井盐史上的伟大奇观。在井盐史上，先民开凿巨型盐井，除陵井和狼毒井之外，我国山东亦开掘了大型盐井。据《新唐书·地理志二》记载：山东东莱郡掖县地区，“有盐井二”，即唐代山东有大口盐井二眼。关于山东大口盐井的形状、大小及开采延续的时代，《山东盐业志》（齐鲁出版社，1992 年）作了颇详、具体的记述：唐代东莱郡掖县的盐井，“为山东利用地下卤水制盐之始，直到解放初期，提取地下卤水的方法，都是挖大口井，大口井呈圆形或椭圆形，圆形直径 30 ~ 80 米，椭圆形宽 30 ~ 60 米，长有数百米。人工用水斗子打水，浓度约 7 ~ 10Bé”。可见，山东大口盐井采卤，从唐代至建国后，延续了一千多年。

志书没有记录盐井的深度，估计没有陵井深，但是口径很大，实属罕见的大口浅井。从圆（椭）形大口井，直径 30 ~ 80 米，对陵井“纵广三十丈”①（折 93.3 米）得以佐证。

关于陵井的盐产量，《元和郡县志》卷三三没有记载，但是，据狼毒陵井的盐卤产量得到证实。

狼毒陵井，亦是一口大型盐井，其井型规模仅次于陵井。唐宋时期，这口大型盐井仍在生产。据乐史《太平寰宇记》卷八五载：“陵井……唐万岁通天二年（697 年）左补阙郭文简奏卖水，一日一夜得四十五函半，……伪蜀井塞，国朝乾德四年（966 年）平蜀，陵州通判贾琏（又说贾琰）重开旧井，一昼夜汲水七十

① 唐代一尺，按公制 0.311 米折计。

五函，每函煎盐四十斤，日获三千斤。至雍熙元年（984年）春冬日收三千八百一十七斤，秋夏日收三千四十七斤，盖水源有长短也。”从乐史的记录，可以得出唐、宋（初）两个时期的盐产情况。

唐代前期陵州盐井的生产量较低：“唐万岁通天二年（697年）……一日一夜得四十五函半”，以每函盐40斤计，日收盐1 800斤。又以年350整天计算（一年中考虑15天检修时间），则一年收盐630 000斤（折盐376吨）。

宋初陵井的生产反映了唐末陵井生产大幅度的提高。这时的盐产仍有高低：“日获三千斤，……日收三千八百一十七斤，……日收三千四百四十七斤。”平均日收3 421斤。以350天计，一年收盐119 750斤（折盐715吨）（见表3－1）。

表3－1 宋初重开10井狼毒陵井和各井日盐量

| 县名 \ 盐井及产量 | 北宋初重开井 | 日产盐（斤） | 备注 |
|---|---|---|---|
| 仁寿 | 狼毒陵井 | 3 421 | 折盐2吨 |
| | 营井 | 40 | |
| | 蒲井 | 38 | |
| 井研 | 研井 | 49 | |
| | 陵井 | 30 | |
| | 棱井 | 53 | |
| | 律井 | 55 | |
| | 田井 | 36 | |
| 始建 | 罗泉井 | 35 | |
| 贵平 | 上平井 | 170 | |
| 合计 | 10眼 | 3 928 | 折盐2.3吨 |

采自：宋·乐史《太平寰宇记》卷八五及顾炎武编《天下郡国利病书》卷六六

由上表可知，当时陵井卤源之丰，盐卤产量之高，为益都各盐井之最，即陵井日盐产量占十井的87%，其余九井仅占13%。

（二）陵州盐额领居“十州”之冠

唐代前期（751年安史之乱前），陵州盐业已有较大的发展，仅盐井一所，每年课盐都当钱之课额，就多达2 000余贯。唐·杜佑《通典·食货十》记载：“成州长道盐井一所……蜀道陵、绵等十州盐井九十所，每年课盐都当钱八千五十八贯。”《通典》记载，蜀道十州的课盐，陵州盐井一所列各诸州之首，是唐开元二十五年（737年）的事。《太平寰宇记》卷八十五又记录了唐万岁通天二年（697年）陵州盐井“一日一夜得四十五函半”，折合日收盐1 800斤，为补记的生产情况，前后相距39年，但二者都反映了唐代前期（751年安史之乱前）的产盐和生产规模。虽然陵州盐井在唐万岁通天二年的盐产量不如宋初（或是唐末）盐产量



多，但是可以看出唐前期陵州盐井已具相当高的生产水平。从《太平寰宇记》补记的生产情况，又可印证《通典》的记载，自开元以来，陵井共收都当钱 2 061 贯，领居十州第一。唐末至宋初，陵州重开十口井，日收盐 3 928 斤，一年以 350 天计，则年收盐 1 374 800 斤（折盐 821 吨）。可见唐代陵州是四川主要的产盐区。

唐·杜佑《通典》记载：四川蜀道十州的盐井和课盐，史实可信，对于研究唐代前期四川盐业的发展，尤其是关于陵州盐业的繁盛，是十分难得的文献。《通典》载："陵州盐井一所"，课额多达 2 000 余贯，为各州之冠，为便于比较，兹将十州课额及所占比率，列于表 3－2。

**表 3－2　陵州盐课名列十州之首**

| 州名 | 井数（所） | 课盐（贯） | | 比率 | 名次 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 分州 | 十州 | | |
| 陵州 | 1 | 2 061 | 8 058 | 25.5 | 1 |
| 泸州 | 5 | 1 850 | 8 058 | 22.9 | 2 |
| 阆州 | | 1 700 | 8 058 | 21.1 | 3 |
| 资州 | 28 | 1 080 | 8 058 | 13.4 | 4 |
| 梓州 | | 717 | 8 058 | 8.90 | 5 |
| 遂州 | | 415 | 8 058 | 5.2 | 6 |
| 荣州 | 13 | 400 | 8 058 | 5.0 | 7 |
| 绵州 | 4 | 292 | 8 058 | 3.6 | 8 |
| 普州 | | 207 | 8 058 | 3.0 | 9 |
| 果州 | | 26 | 8 058 | 0.3 | 10 |

据《通典·食货十》记录"蜀道陵、绵等十州盐井九十所"列表

由表不难看出，仅陵州盐井一所，年课盐都当钱占蜀道十州总额的 25.5%，名列蜀道十州之冠。而资州盐井 28 所，仅占 13.4%。陵州盐井一所约等于资州盐井 28 所盐课的两倍，亦就是说，陵州盐井一所要相当于 50～60 口小井（系大口小盐井，不是卓筒小井）。足见，陵州盐井课额名列十州第一，仍与陵井——"盐井王"产量是分不开的。当然，在唐代前期陵州的盐井不只是一所，还有如仁寿的蒲井、营井，井研县的研井，贵平县的上平井。再加上以上四井的课盐数，这将大大超过陵州盐井一所的课额。

## 二、狼毒陵井应用了先进的机械采卤

唐代四川陵州盐业兴盛，成为川西产盐的中心，除了与丰富的卤水资源等有关而外，与机械采卤也是分不开的。先后，陵井及狼毒陵井都属于大型盐井，采卤技术先进，机械设施配套成龙。如升降机械（包括滑轮）设置绞车，支架安置的"干"，汲卤容器用的"大皮囊"。这些设施，为盐井增产、高产、稳产创造了极好的条件。

### （一）升降机械——绞车

据史籍记载，早在东汉道教始祖张道陵开凿陵井时，曾用过"排车"采卤。





宋乐史《太平寰宇记·剑南东道·陵州》，引《续汉书①·郡国志》云："昔张道陵于此处（指今四川仁寿）得盐井，因推'排车'，引役人唱'排车乐'，协心齐力。"明曹学佺《蜀中名胜记》卷八载："唱车庙，在贵平县（今仁寿内）南九里。汉朱辰为巴郡守，有恩于人，吏人送辰到蜀，回至此，为辰立庙。以其山近盐井，闻'推车'唱歌之声为名。"之后，距东汉张道陵开盐井约900年后，北宋科学家沈括（1031—1095）在《梦溪笔谈》中说："陵州盐井深五百尺……井侧设大车绞之。"《元一统志》卷五，又记录了泸南淯（盐）井于南宋宝祐元年由人力改用畜力"推车"汲卤："五代以前，科丁充役，后以刑徒推车汲水，熏煎甚苦。宝祐元年（1253年）州知事桑愈改以牛具，推车取水，立石镌碑。"

上述史料证实：在陵州和泸州的一些著名盐井中，曾用过"排车"、"推车"以及"大车"汲卤。其中汉时出现"排车"，五代前后又沿用了"推车"。由此可见，"推车"取水自汉代开始，经唐、五代至南宋，时间长达约1 000年。南宋宝祐元年以人力推车改为牛力提汲盐水，仅是原动力的改变和进步，而机械设施"推车"没有新的变化。

据史料记载，"排车"和"大车"先后都置于仁寿陵井采卤，前者创始于东汉，曾用在（张道陵所开）陵井，因陵井最大，口径竟达"三十丈"。所以，"排车"不可能架于井口之上，而是安置在井口一旁；后者出现于北宋，用于狼毒井（又名陵井）"侧设大车绞之"。北宋沈括给"大车"做了科学的定名，这是"大车"最早的记载。同时加上"绞之"二字。可见，"推车"和"大车"如何绞（生产）法？距宋约600年后，明宋应星著《天工开物·作咸》，绘图和文字亦有生动、细致的描绘："井上悬桔槔、辘轳诸具。制盘架牛，牛拽转盘，辘轳绞，汲水而上，入于釜中煎炼。"

清代《四川盐法志》卷二上记述的大车，和现在盐场上遗存下来的"大车"都是由汉代至宋代的"排车"、"推车"及"大车"发展而来的。

（二）奇特高大的井下井架——"干"

以木质架设，拔地而起，屹立于井口，高耸入云的庞然大物，一般谓之"井架"或曰"天车"，它是井盐开发和生产的重要设备之一。天车的主要功能是开凿盐井下钻、起钻、捞砂、测补井等；平时生产以支撑、下放汲卤容器、采汲卤水，如突遇井下故障，又担负打捞（落物）修治井病、起下（套管）等任务。总之，凡钻井、生产、修井等井下工程都离不开井架。这里主要指地面的井架。与此相反，大口盐井如陵井的井架，不是巍立于地面，而是深立于井底，称之为井下井架，古人称之为"干"。在东汉张道陵所开陵井中早已安置了，陵井废后，后开的狼毒井（也称陵井）沿用至唐宋。

北宋大科学家沈括在所撰《梦溪笔谈》卷十三中说："陵州盐井深五百尺，皆石也。上下甚宽广，独中间稍狭，谓之杖鼓腰。旧自井底用柏木为干，上出井口。自木干为之一新，而陵井之利复旧。"

---

① 《续汉书》，为西晋史学家司马彪撰成。全书计八十卷，论次东汉史事，内容纪、传、志均备。其中纪、传部分已佚，仅存八志三十卷，配合范晔《后汉书》刊行，保存下来。



“干”由陵井的巨型规模所决定。在四川井盐发展史上，最著名的大口盐井是陵州陵井。由于陵井规模大，水面低（土下即石卤脉），产量高，负荷重等，这就决定了陵井的劳动组合、采卤方式及生产设施的布局。由于陵井井口空间跨度宽，地面无固定之处，所以，井架或其他设备都不能像地面井架一样横骑立于井口之上，只能将井架深立于井底，架顶伸出井口之外。这种安置盐井的机械方法十分巧妙，是我们先民的又一伟大创造。

对于井架，不应抽象、狭义地去理解。除竖立地面，用于井下施工的宝塔形木架外，从实用上讲，另有一种特殊的井架。这种井架以柏木架成，其功能用于提汲卤水，“自井底柏木为干，上出井口。自木干垂绠而下，方能至水。井侧设大车绞之”，此其一；其二，同时还用于每年维修盐井，如每年一度进行淘井，或捞取绠索断损及皮囊坠落。“干”用于推卤水和维修井，与地面井架的功能相同，可以说是一种奇特的井架。

井下井架的高度以陵井的井深决定（严格说来），井下井架高度比盐井略高（因其上出井口，下至井底）。据《元和郡县志》卷三十三记载：陵井“深八十丈”。唐杜光庭《道教灵验记》述道：“陵井盐井，直下五百七十尺，透两重大石，方及咸水。”宋释文莹《玉壶清话》卷三云：“陵州盐井，旧深五十余丈，凿石而入。”由此可知，陵井（井下）井架最高八十丈（折248.8米），最低井架五十丈（折153.6米），约为四川自贡大十四井井架（88米）的2～3倍，高度远远超出地面小口盐井的井架，其工程巨大，成为中国井盐生产史上的伟大创举。

（三）优点甚多的汲卤容器——“牛皮囊”[41]

在大口盐井长期生产实践过程中，人们不断探索、总结经验，因地制宜地创制了一种盛卤容器，这就是牛皮囊。陵井以大牛皮囊专门用于大口盐井盛水是一种很好的容器，其优点甚多：

第一，取材（牛皮）容易；第二，制作方便（自制）；第三，牛皮有软性和弹性；第四，皮囊盛水容量可多可少；第五，皮囊入井提升或下降，不怕撞碰，经久耐用；第六，自制价廉，取卤成本低。

根据统计，在陵州、井研地区，卤淡盐微，一般每升含固体盐几十克至百余克。陵井当时卤水含盐量无记载，因井最深，可比一般井高。按当地每升含盐量100克计，在唐末宋初平均日收3 421斤（折盐约2吨）。按现在制盐标准计量，折算卤水20立方米。一天大皮囊盛水重量为22 000千克。如以人推车，每小时推汲四皮囊计（以“縋人绳下，乃（以）手汲取”还推不到四次），全日按23小时（考虑一定的耽延时间，不能满算24小时）则总计推汲92皮囊。平均每囊重约239千克。而这仅是盐水的重量。加上绳索沿井摩擦增重，远远超过这个重量。所以要从井深155～177米推约239千克的盐水至地面，劳动强度是很大的。

关于国外大口盐井开凿的简况（以俄国和美国为例）

据俄国和美国盐史记载，在井盐发展史上，同样经历了大口盐井的阶段。但是，在这个阶段中，用人工挖掘的盐井，不一定都称大口盐井，俄国称为“坑井”，美国命名为“大口（橡木）井”“坑洼井”。

俄国开凿的“坑井”。一般在盐泉流出地表或卤水埋藏浅的地方开凿坑井。早

期坑井的深度 8～20 米。采卤方式，用提桶或水筒从井中提卤制盐[42]。这些井主要分布在中心区、北方区、乌拉尔区、西伯利亚区、普里卡尔奇亚等。少数地区，坑井采卤一直延续到 20 世纪 80 年代初，坑井深度 10～60 米，其中 10～15 米叫浅坑，50～60 米称“深坑”[42]。

美国挖掘的“大口（橡木）井”[43]。1808 年以前，美国有的地区食盐仍是利用一些天然泉卤制成。同时以人工挖掘一些坑洼井或洞坰井取卤煎盐。1806 年，戴维和约瑟夫·拉夫纳，在卡诺河口的野牛舐盐地租赁土地，选择井场，用人工开凿大口（橡木）井，内径约 4 英尺（折 1.22 米）①（即从橡木或枫树枝干挖空作套管），封隔砂砾段和破碎岩层。人工在井（套管）中挖掘，同时不断清除井下泥石，橡木管向地下延伸，使井身保持垂直，在深 13 英尺（折 3.96 米）处，遇到硬岩，同时出现地表淡水涌入井内，于是，他们只好放弃了。又在另一处开凿盐井。同样遇到硬岩，他们再折回原先井位继续进行开凿，具体掘出井深多少，不详。但是，1808 年，拉夫纳用顿钻凿至 17.98 米，获得浓卤为人皆知，因此可推测，最终人工挖井深度也不会超过用顿钻凿的深度。至于开掘出的“坑洼井”，类似于“盐池”，那就更浅了。

由此可见，俄国用人工挖掘的大口盐井，称之“坑井”，最大井深 60 米。美国挖掘的“大口（橡木）井”，简称“洼井”，内径 4 英尺（折 1.22 米），井深约 18 米。不能与我国规模巨大的陵井口径 30 丈（折 93.3 米），井深 80 丈（折 248.8 米）并论。因此，我国陵井及狼毒陵井开凿的成功，无愧为世界凿井工程史上的伟大奇观。

## 三、狼毒陵井盐卤高产之“谜”

前已述及，陵井不仅井型规模大，而且盐卤产量高，当时，属于巨型盐井。北宋初重开十口井②，总计日产 3 928 斤，折盐约 2.34 吨。其中，陵井日收盐 3 421斤，折盐约 2 吨（按 100 克/升计，折今标卤约 20 立方米），则占十井产量的 87%。由此可见，陵井盐卤产量之高。为何唯独陵井盐卤产量高？长期以来，一直是个“谜”，这便成为科技史、井盐史等研究工作者共同关注的课题。对此，经考证和研究认为：陵井盐卤产量之高，主要有三点：一是陵井开凿地质条件良好；二是井型规模大，井下卤缝多；三是应用机械采卤。

### （一）狼毒（陵）井地质条件得天独厚

#### 1. 狼毒（陵）井地理位置

据《元和郡县志》卷三三记载：“陵井者，本沛国张道陵所开，故以陵为号。……后废陵井，更开狼毒井，今之煮盐是也。后人因旧名，犹曰陵井。”这段说明，陵井和狼毒井为两口不同的盐井。陵井，由东汉张道陵来陵州（今四川仁寿）开凿的盐井，井址在城区西部阳山，距街市仅半里，井位正位于阳山艳阳洞旁，此洞又是张天师修炼之寓，也是他开凿盐井的指挥所。

狼毒井，则是陵井废后，即继陵井之后，重新开凿的一口盐井。“后人因旧

---

① 用橡木作套管，以隔绝地表淡水。人工掘的“大口井”，用橡木作套管，内径 1.22 米；同时以冲击钻钻的“小口井”也用了橡木套管，外径 6.35 厘米，二者同样是橡木管，但用的井不同。

② 北宋初重开十井：狼毒（陵）井、营井、蒲井、研井、陵井、棱井、律井、田井、罗泉井及上平井。



名”，仍取名为陵井，人称狼毒（陵）井——更新井。按更新井的含义和原则，井位距原陵井不会太远，大约是在它的侧旁，亦是在城区西部阳山处，距城街约半里（详见本节后四：陵井同名三井考）。

2. 该井地质条件得天独厚

据现代地质研究（四川省地质图）得知：陵州（今仁寿）地区地面覆盖地层为侏罗系中统沙溪庙组（$J_2s$）和遂宁组（$J_2sn$）。在城区东侧地表，有一条北东—南西方向大断层通过（见图3－2），因而，该区地下卤水的储藏和富集，谓之得天独厚。该井位于断裂带上，开凿获得丰富的卤源，为盐卤高产提供了先决条件，这便揭开了陵井盐卤高产之“谜”。

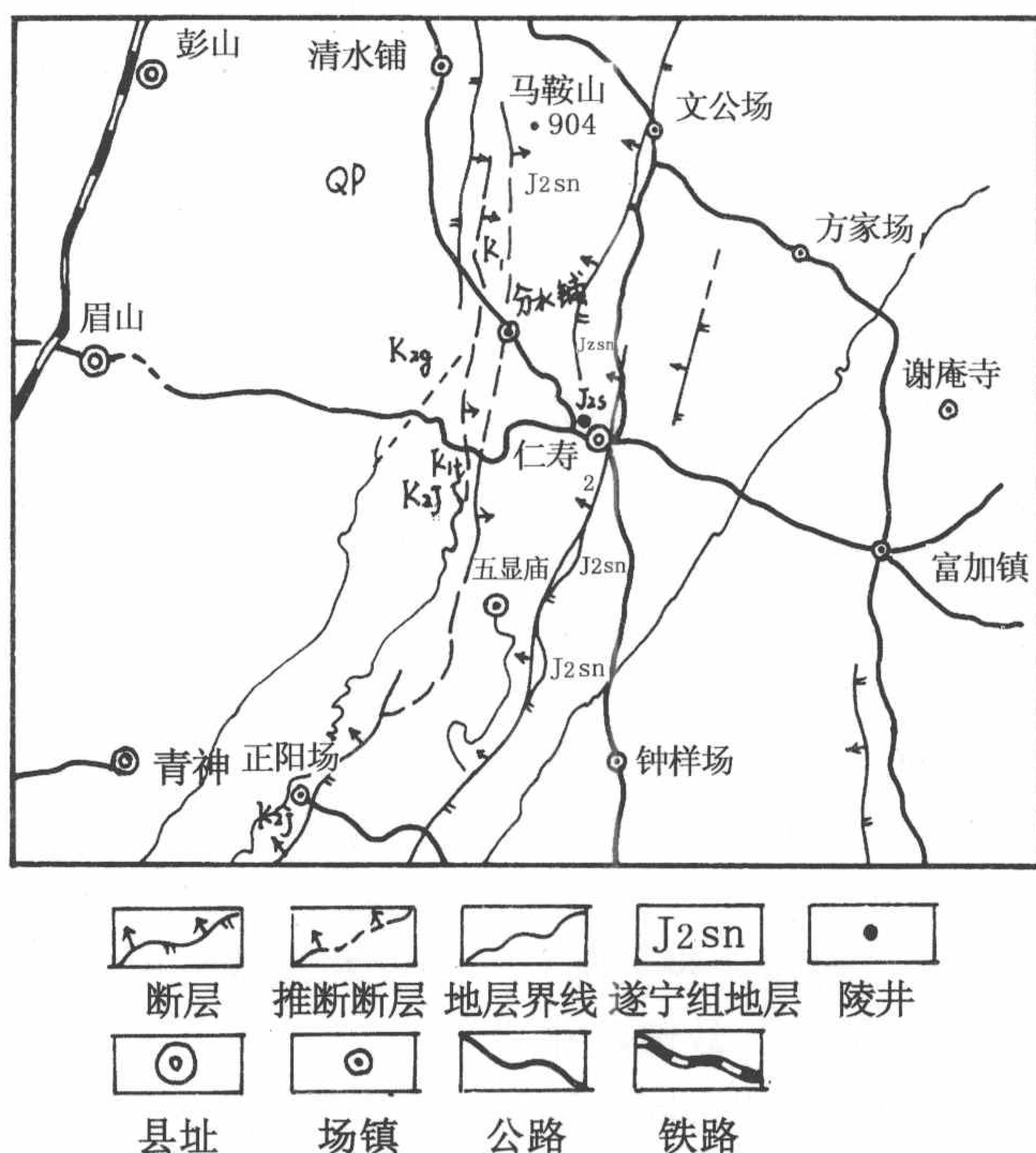



图3－2 陵州陵井断层（陵井位置，系作者亲临实地考察标注）
采自：《四川省地质图》

（二）井型规模大，井下卤缝多

大口盐井一般井深较浅（100米以内）。因此，盐卤产量水平低。但是，陵井井型规模巨大，井深为50～57丈[44]（折今155.50～172.27米），同时在井内架设宏伟高大的井架（架高170～180米左右），可见，井径之大（根据井架的高大，推算井径在20～25米），由于井深、口径大，就能充分揭露井下含卤层之裂缝。

该区为地表浅层淡卤。但由于断层切割，卤水属于裂缝性储集。因此，盐井开凿，所获卤水的盈缩、富贫，与凿井见裂缝的大小、多少极为密切，即挖井见大卤缝则高产，小卤缝则低产，无卤缝则不产。该井位于断裂带上，尤其井径增大，充分揭露了岩层卤缝，于是，“下即盐脉，自石而出”[44]，“透两重大石，方及咸水”[45]。可见，该井井型规模大，井下见卤缝多，卤水富集，盐卤高产，为益





都之冠。

（三）采卤机械先进

陵井卤水丰富，为食盐高产创造了条件。但卤水深集在井内，距地面100多米以下，用何种手段采汲出来？当时，先民们安置了先进的机械设施。如架设了高大奇特的井下井架——“干”（包括滑轮），为生产和维修井起支撑作用；在地面井旁安置了升降机械——“大车”，名曰“侧设大车绞之”；悬吊“干”上的汲卤容器——“大皮囊”等。这些设施配套成龙，为盐井高产、稳产起了重要作用。可以说，狼毒（陵）井盐卤高产的主因，是丰富的卤水加先进的设施，二者缺一不可。

如果将陵井的生产设施和方式，同现代井盐旧法采卤的设施及方式加以比较，不难发现，二者何其相似。为此，有理由认为，陵井为现代井盐生产奠定了基础。

**四、陵井同名三井考**

据史料记载和考证，陵井“同名”的有三口：其一，为张道陵（34—156）所开，以“陵”命井名者，故曰：“陵井”；其二，“陵井”废后，新开的“狼毒井”，后人依旧名，亦称“陵井”；其三，州（陵州）南陵井，在井研境内，仍唤“陵井”。为了区别和便于研讨，以下分别称：陵井、狼毒井、井研陵井。

（一）陵井

陵井是我国古代著名的大口盐井，为张道陵在陵州（今仁寿）开凿的第一口盐井。由于它的工程浩大，举世瞩目，是人类史上伟大的奇迹之一，这必然引起社会名流尤其是文人学士的关注，所以，历代记载史不绝书。

据唐相李吉甫（758—814）撰《元和郡县图志》卷三十三曰：“陵井者，本沛国（今江苏，以下同）张道陵所开，故以‘陵’为号”，命名陵井。

又，张君房辑《云笈七签》卷一一九引唐末学者杜光庭（849—933）所著《道教灵验记》中述道：“天师（张天师）……盐井为救穷民，民聚井旁，户口日众，遂置州井统之。以天师名，故曰陵井。”

另据北宋文学家、陵州知州文同（1028—1079年）奏疏中称：“陵井，始后汉张陵开，与因陵名遂以名井，后复因井名以名其州。”[46]即以陵井名取名为“陵州”。大观四年（1110年），改名仙井，避其讳云。

还有北宋史学家李昉编《太平御览》卷一六六引：“《郡国志》云：昔张陵于此（今仁寿）得盐井……谓之陵井。”凡此种种，不胜枚举。

由上可知，陵井为道教始祖张道陵所开创，以“陵”命井名，故曰：“陵井”。同时又以“陵井”命州名，故曰：“陵州”（今仁寿，以下同）。

陵井的发祥地。东汉张道陵来陵州开凿盐井在城区西阳山，距街市仅半里，井位正位于此山的艳阳洞旁，而洞又是他修炼之寓。

明曹学佺《蜀中名胜记》卷八引唐元和年间（806—820年）刺史李正卿撰《天师圣德碑》云：“天师……自沛游蜀，占犍为分野，看‘阳山’气象，指谓弟子，此山直下有咸泉焉。今验此洞。正当井上”矣。又据《仁寿县盐业公司志》第二章载：“张道陵来阳山开创陵井，仁寿才出现第一口盐井。”

1988年9月，作者专程赴四川仁寿（古陵州）调查，得知陵井位于跨鳌山



（阳山）艳阳洞附近，即今仁寿卫生进修学校地址，民国初修建福音堂填平。

“阳山”的地理位置。“因昔陵阳镇（诸名：城厢镇、文林镇、城关镇）建立在山顶上，向阳屹立，故名陵阳。”[47]山因以名曰：“阳山”。李特寿诗曰：“真成蜀道路蚕丛，万壑千岩一径通。忽见人烟三百户，古陵阳在万山中。”“仁寿城区，三山鼎立，自古称为‘三隅’，东隅飞泉山，南隅翳嘶山，西隅跨鳌山。”[47]古谣曰：“三隅青，陵阳荣；三隅翠，陵阳贵。”[47]

明曹学佺《蜀中名胜记》引李膺《益州记》云：“东西南三山相对，州治居其中，去陵井各一里，谓之三隅山。”

由此可知，陵井的确切旧址：于早年张道陵到陵州考察后，在跨鳌山（阳山）发现“咸泉”，便开始在此开盐井[47]。这口古井遗址，直到民国初还存在，但因修建福音堂填平了，今卫生进修学校正建于此[47]。

艳阳洞在县治西跨鳌山重岩（阳山）下，洞雕凿精致，巧夺天工，曰：“仙洞”。同时，环境幽静，竹树翳蔽，风景秀丽，是仁寿著名风景区。这个洞是张道陵修炼之寓，也是他开凿盐井的办公房。因盐井距洞仅有“四十一丈八尺”[47]，为此，艳阳洞与盐井紧相关连，是陵井发源地的又一佐证。

前面已述及了“陵井”是张道陵开创的，而且开凿的地址源于“阳山”艳阳洞旁。那么，张道陵何时来“阳山”开盐井呢？这正是研讨“陵井”需解决的问题。

张道陵入蜀有史记载。据《三国志·张鲁传》说：“祖父陵，客蜀，学道鹄（鹤）鸣山（四川大邑县境内，以下同）中，造作道书。”

南宋伟大爱国诗人陆游，平生壮志难酬，过着郁闷悲愤的生活。于南宋淳熙元年（1174 年），任荣州（今四川荣县）“摄理州事”，仅短短 70 天离任。自此，诗人又开始漫长的旅途生涯。放翁在《待青城道人不至》中云：“我亦从来薄世缘，偶然采药到西川。慵追万里骑鲸客，且伴千年化鹤仙。”（诗见《剑南诗稿》卷七，第二 O 一页）。此处，诗中提及的“鹤仙”，“鹤”即鹤鸣山（今川西大邑县境内），古今著名的名胜风景区；“仙”即道教祖师张道陵，名仙师，曾在鹤鸣山学道修身，因此，诗人称他为“鹤仙”。又在《张仙翁呼戏作一绝》云：“张仙挟弹知何往，清啸穿林但可闻。拾得铁丸无处用，为君打散四山云。”（诗人自注：“张四郎常挟（铁）弹，视人家有灾疾者，辄以铁丸击散之。”）即陆游赞扬张道陵为民做善事，解除灾疾。（此诗见《剑南诗稿》卷八，第八十七页）。由此可知，以上诗中提到的“鹤仙”“张仙”“张仙翁”，就是陆游对张道陵（张仙师）的尊颂。

据李远国所著《四川道教史话》一书，引证《汉天师世家》等道书记载，张陵（张道陵）字辅汉，沛国丰（今江苏丰县）人。据说，他是汉留侯（西汉开国功臣）张良的八世孙，从小喜欢研读《道德经》以及天文、地理……图谶一类书籍。后入太学，博达五经……曾做过一任巴郡江州（今四川重庆市）令。由于目睹朝廷的日益腐朽没落，便挂冠隐退，入北邙山学长生之道。朝廷征为博士，他称疾不起。和帝［刘肇永元元年（89 年）继位，在位十七年］即位，征为太傅，封冀县侯，三诏不就。张陵离开官场，漫游江湖，去寻求人生的理想。……张陵听说蜀人纯朴厚道，易于教化。蜀中有许多名山……于是千里跋涉，自河洛入蜀，

于顺帝时（126—144 年）来到鹤鸣山。东汉永寿二年（156 年），据说张陵在鹤鸣山中被毒蛇咬伤而死。

从上可知，张陵来川凭据确凿，是令人信服的。按他于顺帝时（126—144 年）到鹤鸣山至永寿二年（156 年）是在四川省活动最后的岁月，至关重要。有的学者在著述中，也确定在永寿二年（156 年），按张陵去世定于永寿二年（156 年），那么，他来陵州开盐井应在永寿二年以前，应考虑在永寿元年为下限或者就是陵井开凿竣工的时间。

陵井开凿以 155 年为下限，从另一史籍中也可以得到旁证。据宋《舆地纪胜》卷一五O“隆州·仙释”云：“张天师，沛国人……永寿中（155—157 年）过阳山，……有咸泉……付以煮海之法。”这里说明两点：其一，张天师在行中到阳山是 155 年至 156 年，与他被蛇咬伤而死（156 年）的时间出入不大，但总的来讲，基本上是吻合的；其二，他到阳山来干什么？“有咸泉”和“付以煮海之法”，寥寥数语，正说明陵井开凿见功“出盐水了”，同时利用盐水教民“煮海”（熬盐）。

随着陵井下限的确定，接踵而来的是上限了。这里，首先让我们来看看有关方面提供的史料：

第一，如前所及《四川道教史话》说：张道陵入蜀时间为“126 年至 144 年”；

第二，《四川仁寿县志·建置沿革志》载：“东汉汉安二年（143 年）道教定型化始祖（即张天师）自沛游蜀”，勘查盐井忙累奔波，随后，他在仁寿三隅山下开盐井办工业（熬盐）。

第三，前已述到元和刺史李正卿著《天师圣德碑》云：“天师东汉汉（误建）安二年（143 年），自沛游蜀，占犍为分野，见阳山气象，指谓弟子，此山直下有咸泉焉。”

由上得到两点启迪：

其一，天师“自沛游蜀”是“汉安二年（143 年）”或是“汉安三年（144 年）”，比较符合当时的历史事实。

其二，他于入蜀当年来到犍为郡考察山脉，观气象，在仁寿城区“阳山”找到了丰富的卤水，选定了掘井的有利部位后，便必然组织人力、物力及财力投入浩浩荡荡的开凿盐井工程。再考虑到这个宏伟、庞大的工程，也必须有一定的准备时间，后才正式进入现场施工阶段，直达全井工程竣毕。因此，陵井的始凿之时，应是他入蜀（143 年）的第二年即汉安三年（144 年）或是冲帝（刘炳）永嘉（145 年）时比较符合客观实际。亦即是说，陵井开凿的上限确认为东汉汉安三年至永嘉元年（即 144 年至 145 年）。

依据上述史实，可推导出：张道陵入蜀于东汉汉安二年或者是汉安三年（即 143 年至 144 年），卒于永寿二年（156 年），约在川修炼、开盐井、生活等长达十三四年之久（但曾在重庆做官时年未计）。

陵井开凿年代：最早早不过东汉汉安三年至永嘉元年（即 144 年至 145 年）开始，至迟不迟于东汉永寿元年（155 年）大功告成，全部工程约用了十一二年的时间。



（二）狼毒井

狼毒井是继陵井之后，又新开的盐井。狼毒井亦名陵井，但不是张道陵所开的陵井，取名同，但内容实质则不同。两者的区别：据唐相李吉甫（758—814）名作《元和郡县图志》卷三三载："陵井者，本沛国张道陵所开，故以陵为号。晋太元中（376—396 年）刺史毛璩于东西两山筑城，置主将防卫之，后废陵井，更开狼毒井，今之煮井是也。后人因以旧名，犹曰陵井，其实非也。"

又宋乐史著《太平寰宇记》卷八五也提及："狼毒井，今名陵井。"

由上可证：

其一，"陵井者，早为东汉"张道陵所开这口盐井，约在东汉永寿元年（155年）见功，至"晋太元（376—396 年）刺史毛璩"特专门在"东西两山（即飞泉山和跨鳌山又曰阳山）筑城，置主将防卫之"，由此说明，陵井处于十分重要的地位，加强安全保卫，以防对它的损坏，不然，何需防卫？

其二，所谓"后废陵井，更开狼毒井"。乃是陵井报废后，重新开的狼毒井。陵井在何年何月废弃，（唐相）李吉甫未有说明，但至迟在晋太元中（376—396年）以后，这点是肯定的。因张道陵在永寿二年（156 年）被蛇咬伤死去，早已不在人世了。而"更开狼毒井"之事，则在两个半世纪后，绝非张道陵所开。狼毒井"后人因以旧名，犹曰'陵井'，其实非也。"

其三，"今之煮井是也"。用个"今"，指当时唐代"煮井"（熬盐）的水来自狼毒井，不是陵井，本意区别两口井。

狼毒井沿袭旧名取名"陵井"，但与东汉陵井名同而实异。这个概念弄清之后，那么，何谓"更开狼毒井"？本不同于陵井的又一例证：

先从"更"字谈起。原作者在"开狼毒井"之前加一"更"字，此曰："更开狼毒井"。"更"用在这里，不是文字游戏，故弄玄虚，而是表明，这口井的性质、序次，太重要了。

这里的"更"字，作更改、变更、替代、更新解，若取"更新"较合意。顺理成章，昔曰"更开狼毒井"，其实是"新开狼毒井"，简名"更新井"。

今盐场钻井，如，自贡盐场，在年度计划中，工程项目诸多，列有"新钻井、加深井、大修井、起复井、更新井"等等。"更新井"是因盐井发生重大事故或者井损坏，难以解除和修复，在万不得已的情况下，予以报废。井废之后，井内（地下）的盐或卤或气资源埋藏仍丰富，可继续开采利用，在原报废井附近，新钻一口井取代原井，故名"更新井"。为此，"更新"今名早在古代大口盐井已用，现代钻井项目仍沿用，古今通用，其义则同。

"更开狼毒井"源于何地？唐相李吉甫没有记载这个问题，其他文献迄今尚未查出，按更新井的意义和原则，更开狼毒井距原陵井位置不会太远，很可能就在它的侧旁。

次说"狼毒井"。古人开凿井，无论盐井或气井的命名，据其理，内涵深。众所周知，如著名的富世盐井，因出盐最多，获利最丰，曰：富世井。同理，"狼毒井"以"狼毒"命名，也别有含义。

所谓"狼毒"，即一种"药草名"或"植物名"，因其"有巨毒""有大毒"，

故名“狼毒”。为何以“狼毒”取井名，曰：“狼毒井”？这可从有关史籍中解除疑虑，找到答案。

宋释文莹《玉壶清话》卷三中记述：“陵州盐井，旧深五十丈……自兹石脉淤塞，毒烟上蒸，以縋炼匠下视，縋者皆死，……琰（贾琰）至井，斋戒虔祷，引锸徒数百人，役徒惮不肯下，琰执锸先之，数月（旬）才见泉眼，初炼数百斤，日稍增数千斤。”

又北宋著名科学家沈括在《梦溪笔谈》卷一三载：“陵州盐井深五百余尺，皆石也。……岁久井下摧改，屡欲新之，而井中阴气袭人，入者辄死，无所措手。”

明进士曹学佺撰《蜀中名胜记》引《郡国志》曰：“仙井，阴气袭人……投以火，则烟气上冲，溅泥漂石，沸吼如雷。”

以上清清楚楚、明明白白地告诉我们：由于盐井里的天然气中含有的硫化氢（$H_2S$）、一氧化碳（CO）等有毒气体，古人称“毒烟”或“阴气”，这种“毒烟”或“阴气”似如“狼毒”，即“有巨毒”“有大毒”，毒气袭人，使入者窒息中毒，“炼匠下视，縋者皆死”“入者辄死”。因此，“役徒惮不肯下”。尤其危险，若天然气一遇明火，立即发生猛烈的爆炸，将井内泥、石冲出地表乱飞，吼声如雷，似如一枚小型炸弹的威力。可见入井条件之恶劣，役作甚苦，真是名副其实的“人间地狱”。所以先人将这口盐井，取名“狼毒井”，非常恰当，名副其实。

综上所述：“狼毒井”其含意是有毒气的盐井，简曰：“巨毒井”“大毒井”矣。“更开狼毒井”即是“新开狼毒井”，或称新开有毒气的盐井，简称：更新井。由此区别“陵井”。

（三）井研陵井

州南陵井，其名亦与陵井同，但它位于井研县境内，因此而异，由此与陵州陵井区分开来。

据传和以后记载，井研县境内陵井仍由张道陵所开，“熊家山为张仙沟，俗说以张道陵得名，考道陵开陵井，州以是名，即今仁寿治。”（清《光绪井研志》）引唐《元和志》云：“‘井研亦有陵井，在州南一百里，俗因谓此井亦道陵所开。’窃谓井仁接壤，仙踪所留。事故恒有，沟以道陵传，非臆说也”[48]。唐时井研盐业号称最盛，陵井名早已出现，并列群井之中。还有（宋）《太平寰宇记》卷八十五，详细记载了陵井的位置及其演变过程：“陵井在州（陵州）南一百九里，唐时官私日收盐五斗五升，龙朔元年坏，上元元年重开；伪蜀栈至国朝乾德三年重开，日收盐三十斤一十两。”再有《光绪井研志》卷六做了明确的记载：“陵井在陵州（仁寿）南一百九里，此井研陵井，非陵州陵井。”

综上所述：根据盐井所处地理位置不同，开凿的早迟，生产的规模等特征，陵井可分为陵州陵井、狼毒井（仍称陵井）及井研陵井，即同名异井的三口陵井。陵州陵井和狼毒井都是大口盐井的典型代表，对它们进行研究，在我国和世界盐业发展史上都具有重要意义。

### 五、“雨盘”的发明及功用

#### ——陵井修治防避井下毒气的安全措施

雨盘的发明，是先民与自然作斗争、改造自然、利用自然的重大技术措施。



它的研制成功，为人们在井下连续作业，防避硫化氢、一氧化碳等中毒，保护人身安全，起到了重要作用。北宋科学家沈括在《梦溪笔谈》卷十三中，把“雨盘”的发明及功用记载下来，传至今天，难能可贵。雨盘的创造，是确保狼毒陵井顺利修复，防避井内毒气毒人的安全措施。

古代在开发矿业中，常常遇到地下的“毒气”，先民用竹筒抽吸排出，方能使采掘顺利进行。邓淳《岭南丛述》卷四里记述了铜矿开采的情况：“韶州岭水场（今广东韶关一带），往岁铜发，掘地二十余丈即见铜。今铜益少，掘地益深，至七八十丈。役夫云：‘地中变怪至多，有冷烟气中人即死’。役夫掘地而入，必以长竹筒端置火先试之，如火焰青，即是冷烟气也，急避之勿前，乃免。”

明代宋应星在《天工开物·燔石》中，亦讲到了古人在采煤中，用巨竹排出毒气的科学方法：掘地“深至五丈许，方始得煤。初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上，人从其下施镬拾取者。或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。其上支扳，以防压崩耳[49]。

古代铜矿及煤炭采掘，用巨竹抽吸毒气，似同天然气井用的“冲天枧”。但是，大口盐井——陵井的掘进和修复，人要下井内作业，井中“阴气袭人，入者辄死”，[34]陵州盐井，井筒“毒烟上蒸，……缒者皆死”[44]。一旦阴气遇火，则井内“烟气上冲”，并立即发生剧烈爆炸[36]。所谓井中“毒气”“毒烟”“阴气”即地下煤气、天然气中含的硫化氢（$H_2S$）、一氧化碳（CO）等有毒气体。采煤遇到的“毒气”，可在一处用竹筒排出，而人在另一处采掘，避开或大量减少“毒气”。但是，大口盐井的开凿或修复，人仅限在一个井筒内作业，“毒气”沿井筒上蒸，因此，很难避开“毒气”，自然条件更为恶劣、艰苦（当然，现代采煤，可用通风的办法，减少瓦斯气的含量，控制瓦斯气的比例，与古代采煤排气不同）。

同恶劣的自然条件进行卓绝的“苦斗”是必要的，也是难能可贵的，但不是长久之计，必须“苦斗”加“巧斗”，即运用科学的方法与自然灾害作斗争。如果说贾琰是一位有名的实干家，那么，陵州推官杨佐就是一名出色的巧干家了。为修复井下井架——“干”，杨佐教工人制作了“雨盘”[50]，防避井内“毒气”，收到了显著的效果。但是，“雨盘”防避“毒气”的实质何在？为了研讨这个问题，此将《梦溪笔谈》卷十三《陵州盐井》记载“雨盘”其功能引证如下：

“陵井……岁久井干摧败，屡欲新之。而井中阴气袭人，入者辄死，无所①措手。唯候有雨入井，则阴气随雨而下，稍可施工，雨晴复止。后有人（杨佐，陵州推官——笔者注）以一木盘，盘中贮水，盘底为小窍洒水，一如雨点，设于井上，谓之‘雨盘’，令水下终日不绝。如此数月，井干为之一新，而陵井之利复旧。”

原来“雨盘”是在“有雨入井，则阴气随雨而下，稍可施工，雨晴复止”的启迪下，而采用的重大技术措施。有了“雨盘”，无论雨天或晴天均可照样施工。

这很显然，陵井毒气的减少与雨水有关。古人认为，“阴气随雨而下”，以治服了毒气。今按一般的解释：毒气即硫化氢（$H_2S$）有溶于水的性质，在 25 ℃时，

① “所”，胡道静等：《梦溪笔谈·导读》卷十三作“缘”。巴蜀书社，1988 年。

1 体积水，约能溶解 2.6 体积硫化氢。即是说，“雨盘”洒下的水，把大部分硫化氢溶解，方可进行井下作业。在此，有两点需要提出来的：

其一：“毒气”不能仅仅理解为硫化氢（$H_2S$），还有一氧化碳（CO）之类。硫化氢（$H_2S$）有溶解于水的性质，但一氧化碳（CO）是基本不溶于水的。因此，即使硫化氢大部分被水溶解了，井内一氧化碳含量重，也会使人中毒窒死。由此认为：无论是“雨盘”洒下的水，或是大气自然降的雨，都不能全部溶解毒气，即不能根本解决毒气问题。

其二：狼毒陵井井型规模宏大，而且井身腰呈“杖鼓”形，毒气从井段下部地层中溢出，沿着井筒上蒸，即井筒中都充满了毒气。而“雨盘”从井口洒下的雨水，不能包括整个井筒，于是，在雨水没有洒到之处，硫化氢得不到溶解，同时有一氧化碳等并存，也会威胁到人身安全，妨碍井下作业，如修复井干，疏通盐脉，怎能将修井工程进行到底?

经长期井下采卤、采气证实，笔者认为：当时陵井井内毒气大量减少的主要原因有两点，首先，是水淹没了天然气（包括毒气）层，以阻止地层里的天然气（包括硫化氢、一氧化碳）向井内溢出；其次，是雨水溶解了部分毒气（如硫化氢)，由于两者的原因，致使井内绝大部分毒气减少，因而，人方能在井下做到安全施工。以下就来研讨这个问题：

（一）雨水淹没出气层位置。阻止了大量的天然气（及其含的有害气体）溢出是陵井井内毒气大量减少的重要原因

据史载，陵井“盐脉自石而出”及“毒气上蒸”，由此得知，陵井既产盐水，又产天然气（毒气仅是天然气中含的有害气体)，即谓之“水火井”（水即卤水，火即天然气，又名瓦斯气或瓦斯火)。因此，本井的水气同层，并从水气产出的关系，有可能产气位置，略高于出卤（水）位置，如仅以本井自产的卤水，不可能涨高淹灭产气位置，于是，天然气（包括毒气）从地层中产出，进入筒里并沿井筒上蒸。为解决井下毒气，必须依靠地面人工（利用“雨盘”）大量洒水，或大气自然降雨，雨水与井内的盐水混合，不断涨高淹灭产气位置，① 以阻止大量的天然气（包括有害气体）溢出井筒内，从而防避了毒气对人身的危害。

尽管唐宋时期还在生产的这口陵井，距今也有千余年了，而且规模巨大（特别是井筒直径大)，与清代及民国时期小口深井不同，但它是裸眼、敞口、低压（无论是水或气都属于低压至无压阶段）开采，却又是相同的。现在，自贡盐场遗存下来有许多口生产的老井和旧井，都是清代及民国时期钻凿的。根据同一眼井中，卤气产出的关系，可划分为干腔火井（又名纯气井)、水火（气）井及卤水井三种类别[51]。其中，同一井中既产卤又产气的“水气（火)”井，在自流井构造顶部（郭家坳区）约占35%。为此，水阻止气的产出，可在“水气（火)”井及地面注水中得到证实。

1. 在“水气（火)”井中，水（指井内卤水）时常阻止气的产出，为保证气的

① 自然降雨，虽直接从井口落入井中的雨水不多，但自然降雨后，地下浅层中水量增加，可从地表断层（陵井位于断层带上）沿着破碎地带流入井内，增加井底水量，淹没气层。



正常生产，采取推水措施。

由于“水气”同井及同层，水涨高至气缝处或淹灭气缝时，就影响盐业生产。为使井内气的正常供给，确保灶上制盐正常生产，因而，对水气井采取措施，专门安置机车，昼夜分班轮流推水，使水位（柱）低于火（气）缝位置之下，即气缝高于水位，经常保持气缝高出，不致井水淹灭，以维持均衡生产。根据“水气（火）”井生产，水位（柱）与气（火）缝的高低关系，气产出的情况，有下列四种反应。①

第一，井内水位（柱）低于气（火）缝位置时，则井内产气正常，输气供灶上制盐锅口不增不减，而且气体燃烧火焰显绿色，上冲有力；

第二，井内水位（柱）接近气缝位置时，则产气量略减，输气供灶上制盐锅口亦减少，气体燃烧带红色，火焰上冲力减弱。

第三，井内水位（柱）淹没气缝位置时，则产气量锐减，灶上制盐锅口压缩（俗称“压火”），生产不正常；

第四，井内水位（柱）涨高在气缝位置以上时，则产气量甚微（气通过水中可溢少量），灶上制盐几乎处于停产状态[52]。

2. 地面人工向井内灌注淡水（开采岩盐卤水）与天然气的产出情况。

土地坡达德井，原产天然气烧30口锅（日产气约3 000立方米），1956年用传统钻井技术加深发现岩盐，自此，该地为岩盐开发区。为了资源综合利用，人工从地面灌注淡水（俗名白水），以溶解岩盐成为卤水，便于井下推汲，同时还将本井的天然气输送到郭$_{四}$井场地制盐。但是，注入淡水的多少，上涨水位（柱）的高低，即水位在气缝的上或下，就直接关系到产气量的大小，即供给灶上制盐正常与否。其气量的变化情况，与上“水火”井四种反应相同，此不赘述。

（二）从盐场的毒气井，看陵井中的毒气

在正常情况下，25 ℃时，1体积水约溶解2.6体积硫化氢。硫化氢溶于水，在自然卤水中常见到。如黑卤（又名黑水），即黑色之盐水。在盐场黑卤中，除了含有大量的氯化钠（NaCl）外，还含有稀有元素，同时含有硫化氢、硫酸根（$SO_4^{2-}$）等以及悬浮物，其臭鸡蛋味甚浓，因盐水呈黑色，故名黑卤。矿化度一般为180～220克/升，主要产于嘉$_{五}$段及雷$_{一}$段地层中。在四川黑卤中，普遍含硫化氢有害气体，但不同地区，其含量各异。

由上述（一）及（二）两方面的主次原因，笔者认为：

第一，硫化氢溶于水，可减少陵井中硫化氢沿井筒上蒸，因而也减轻了对役徒人身的侵害。但陵井纵广巨大，井里气体不断从地层产出，而且雨水溶解量仍然是有限的，因之，井筒里还有部分$H_2S$存在。

第二，井中产出的天然气，不仅含有硫化氢（$H_2S$）有毒气体，而且还含有一氧化碳（CO）有毒气体。在通常状况下，1体积的水，仅能溶解约0.02体积的一

① 据盐场调查：低压水火井，以“排水采气”（即把井内积水推干，完全亮出气缝位置，开采天然气，保持井内水气第一种情况，避免或减少井内水气第二、第三、第四种情况），不仅使采气稳定，输气上灶制盐正常，而且还能延长气井开采寿命，提高采气率。为此，“排水采气”是自贡先民独特的创造。

氧化碳。即一氧化碳基本"不溶于水"，这与硫化氢本不同。而且一氧化碳有剧毒，吸进肺里后跟血液里的血红蛋白进行化合，使血红蛋白不能很好地跟氧气进行化合，人体就缺氧。若人吸入少量的一氧化碳就会感到头痛昏晕，吸入较多量的一氧化碳，就会缺氧而窒息死亡。

第三，虽然硫化氢溶于水，但是，一氧化碳基本"不溶于水"，为此，陵井仅以雨水溶解有害毒气（硫化氢），不能维持役徒井下作业。所以，解决陵井中毒气的有效途径，是"雨盘"从井口洒水，或大气降雨，淹没气缝的位置，可阻止大量的天然气产出，同时也防避了大量的有毒气体的产出。

四川各地盐井中的毒气，古今有之。在历史悠久的自贡盐场同样存在。据清进士李榕著《自流井记》载道："德成井，火卤气熏人至死。"又说："如海进，水卤气亦熏人至死，凡被水火气熏者，从大扇招凉风之立苏。飞鸟触之坠地，拾掌中吹之即飞去。"

陵州（今四川仁寿县）狼毒（陵）井，役徒修井险恶，"入井皆死"。与川东云阳盐厂西汉大井，工人下井检修"中毒身亡六人"及与川南自流盐场如海井等"熏人至死"，其性质类同。这些井毒气凶猛，均有毒气存在，古代仅做了定性的研究和肯定，但毒气含量多少，由于当时科学技术水平的限制，不可能做出定量的分析。现在，根据自贡盐场逢源、老双盛及大滐井三口毒气井的资料，从中得到启迪。

清乾隆年间和清末开办的老双盛及逢源井，两井均生产天然气，兼采少量卤水，其毒气甚猛，使人"轻者昏迷""重者死亡"，麻雀飞过井上，急坠落地。大滐井开办比老双盛更早，毒气含量亦重，三井分析资料如下表3－3。

**表3－3　自贡盐场气卤井有害气体分析资料**

| 体积（%）<br>井名 | $CH_4$ | $H_2S$ | CO | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 老双盛 | 84.37 | 4.55 | 0.19 | 浅层气、腰脉火 |
| 逢　源 | 87.21 | 2.40 | 0.14 | |
| 大　滐 | 94.23 | 1.18 | 0.18 | |

表据原石油工业部四川勘探局110队：《自流井构造盐井调查原始资料》列出，1955年调查。

由上表可知，在天然气（又名瓦斯气）中，主要成分为甲烷，同时含有毒性气体，如一氧化碳、硫化氢等。由于井中的天然气含有毒气甚浓，"毒人至死"，因此，人们取名毒气井（如狼毒井）。当时，陵井检修，"入井皆死"，其毒气情况，估计不会低于自贡盐场气卤井中的含量。当然，在陵井中，不仅有天然气、毒气，同时还有空气，即天然气、毒气、空气的混合物。当井内空气中瓦斯（包括毒气）含量达2%以上时①，"徒惮不肯下井"作业。

① 许自新译：《煤矿技术基础读本》。采掘工作面时，瓦斯气增到2%或更多时，便立即停止采掘，工人离开工作面。



结语：陵井以“雨盘”洒水，可一举两得，一方面雨水与井内自产的盐水混合，水位（柱）涨高至淹灭产气位置，阻止大量的气体（包括毒气）从岩缝里产出；一方面，即有少量气体沿井筒上蒸，雨水可溶解部分有毒气体，于是，以将井内的毒气减少至最低限度，从而大大减轻了毒气对人身的侵害，确保井下作业顺利地进行，这就是“雨盘”防避井内人员中毒的实质所在。为此，“雨盘”是古人制服“毒气”、战胜自然灾害的一项重大发明。

## 第五节　大口盐井采卤实例

### ——川东现存西汉白兔盐井

著名的白兔盐井，位于川东云阳县云安镇上。该井从西汉初发现、凿井、采卤，至20世纪60年代初，仍日产卤水1 000立方米，可制盐近20 000市斤（折今约5吨盐），盐卤生产两旺，历经2 000余年不衰，世为奇观。白兔井的遗存，为今天考证和研究西汉大口盐提供了一个实物“标本”，难能可贵，因之，有重要的价值。

**一、白兔盐井与云阳盐业的兴起**

据《四川盐政史》卷二记载：“云阳盐井始于汉。”又据（清）《云阳县志》云：西汉高帝二年（公元前205年），为刘邦打天下的功臣三虎将军樊哙路过川东云安时，偶然发现白兔过江，遂拔箭射中白兔。但兔未毙，便带伤向汤溪河南岸森山逃窜，樊哙跟踪追至现大井附近，兔钻进丛树杂草中失踪。这时，樊哙在一片乱石群中，发现一股呈乳白色的泉水从岩缝中缓缓流出，尝之味咸，即便命民凿井熬盐，故，取名白兔盐井（又称大井）。自此，开辟了川东云阳盐场凿井、汲卤、制盐的历史[53]。

自白兔井建成和生产后，此地凿井迅速崛起，盐业繁荣，进而发展成为云阳盐厂。盐厂距云阳县城15千米，位于云安镇上。据史料记载：云阳县春秋时属巴国，战国属秦国巴郡辖，汉时名朐忍县，后改云安县，隶属巴东郡[16]。云阳盐业世代兴旺发达，为四川有名的产盐区之一。（晋）常璩在《华阳国志》卷一中云：“朐忍县……有盐井。”《水经注》卷三十三曰：“江水又东迳瞿巫滩，即下瞿滩也，又谓之博望滩。左则阳溪水注之，水源出县北六百余里上庸界，南流历县翼带盐井一百所，巴川资以自给，粒大者方寸，中央隆起，形如张伞，故因名之曰：‘伞子盐’有不成者，形亦必方，异于常盐。”[20]《舆地纪胜》卷一八二载道：云安监及云安县（今云阳）盐井，“岁产盐三十余万斤”。经实地考察：白兔盐井“日产卤水约1 000立方米，可制盐近两万斤”（10 000千克）[54]。在古代大口盐井中，真是难得的高产井了。《四川盐政史》卷二记录颇详：“云阳盐井始于汉初，仅汤溪（河）南岸有之，区域甚狭……至清初之时，只有井十眼，岁产盐七八十万斤而已。雍、乾时，增井百三十三眼，烧灶三百五十七座。”由此可知，云阳盐井始于西汉初，这时仅有盐井两眼（白兔井和地灵井），至清代凿井增至133眼，达到极盛时期。历史上，云阳盐场以白兔井为代表，盐业兴旺，畅销四方，食盐不仅





满足该县人民需求，而且还远销湖北十余县区等。唐永泰元年（765 年），诗人杜甫离开成都出川，因病留居川东云安半年。目睹川东人民生计艰窘，饥寒交迫，挣扎在死亡线上。妇女出没于盐场和集市，冒着生命危险贩卖私盐为生，男的乃撑船度日。于是，他在《十二月一日三首》中写下了“负盐出井此溪女，打鼓发船何郡郎”的诗句[55]。又在佳作《负薪行》里写有“筋力登危集市门，死生射利兼盐井”的名句”[56]。同时，也看到川东盐业繁荣，盐商云集，往长江中下游地区盐舟重载，贩运十分繁忙，并勇闯江上急流险滩。为此，他在《滟滪堆》写有“石巨水中央，江寒出水长。沈牛答云雨，如马戒舟航”的绝句[56]。（见曾枣庄《杜甫在四川》第 135 页，四川人民出版社，1980 年）

## 二、挖井工程

经考察，白兔盐井位于川东云阳县汤溪河畔，它是云阳盐厂凿井最早也是最大的一口盐井，而且卤源丰富，产盐最多，历时 2 000 多年的开采，长盛不衰，为我国和世界罕见。同时，这口盐井，地下井身部分保存完好，地面建筑及井口设施也尚齐全。因而，它是我国大口盐井中具有典型性和代表性的一口盐井——再现了汉代大口盐井的模式。关于白兔盐井凿井工程的模式，大致可划分为挖井口、挖掘井、护井壁及装井口四个步骤。

### （一）挖井口

即按建井的要求，以井口中点为圆心，5 米长作直径形成一个圆圈①，先挖去圈内的风化层松土，至硬岩层，然后沿圈壁用条石砌成一个圆井，名为挖井口。这一步骤与明清时期“立石圈”“开井口，下石圈”类同。

### （二）挖掘井

全由劳动者去到井下作业，手握铁制工具如锄、锤、斧、钎等，直接挖土凿石，然后用轮车（手绞车）将井底破碎的土石挖升到地面。并不断地挖掘，使井逐渐加深，而后始得卤水资源，这时，挖井工程才终结。经实测定，白兔盐井裸眼直径 4. 12 米，全井深度 53 米。这种挖掘大口盐井的方式，与人工打水井的方法基本相似。

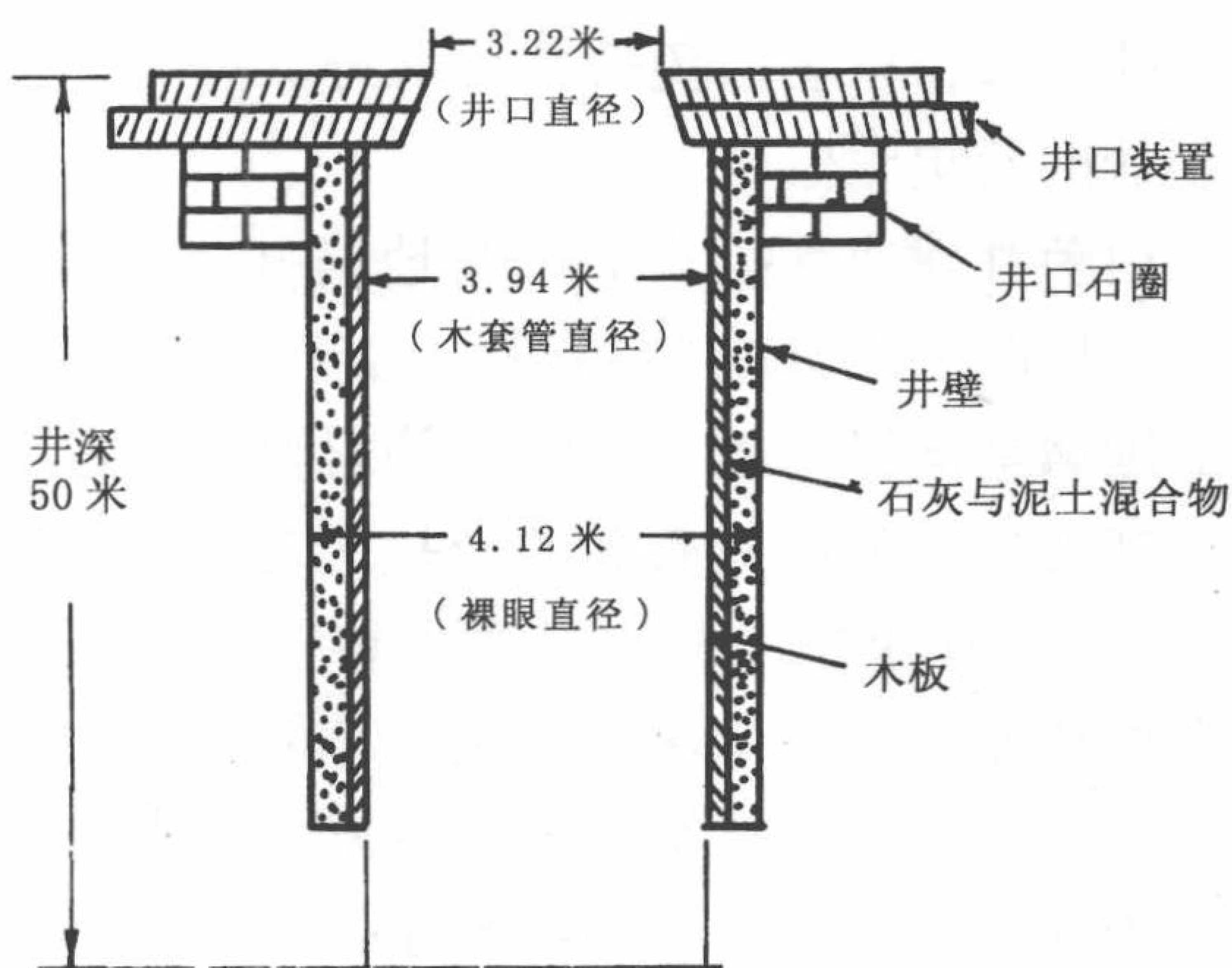



图 3－3　白兔盐井井身结构

采自：白广美《川东、北盐业考察报告》（见《自然科学史研究》第 7 卷第 3 期，1988 年）

### （三）护井壁

大口盐井，口径扩大，松软岩层容易垮塌。为保护井壁及封隔浅层淡水渗入井内，因而，该

① 由云阳盐厂副厂长张显任提供：1966 年白兔盐井淘修至井底实测井深 53 米，开孔直径为 5 米。张厂长提供的井深、井径与白广美作图 3－3 略有差别。



井用边长155厘米、宽9厘米的木枋（俗称“贴板”，实为木制套管）相互榫接，构成（内空）八棱柱体①，横断面呈八边形，层层垒叠，以是固井，构筑成井壁（见图3－3）。

贴板套管，制作精细，扣榫严密，无缝无隙，隔水护壁，即人造木制套管构成井壁。其优点是坚固、防腐、耐用，可数十年不坏。在木板套管与井壁（岩石）的环形空间，又用石灰、黏土、水混合拌成“三合土”充填，使固井坚牢，保护井壁，有利于盐井的开采，延长使用寿命。这种保护井壁（即固井）的方法，是古代人民伟大的创举，较中原地区的水井又有新的进展。

（四）装井口——围绕井口铺设环形平台

井下掘井工程完后，又在地面井口周围安装踩板，便于工人站立提卤（见图3－3井口装置）。

在“贴板”（即八边形木制套管）顶端距井口约0.84米处，用方木层层重叠，且层叠层收小井口，直至地面。然后高于地面围绕井口铺垫二十块木板，每块板上底52厘米，下底65厘米，腰54厘米，呈梯形状，构成井口直径（3.22米），小于“贴板”直径（3.94米）的环形平台，采卤时，方便工人脚踩在平台上作业。

## 三、白兔井采卤方式

大口盐井时期，由于盐井的大小和深浅不同，井卤的盛衰及多少的差异，所以采卤之法亦不同。其中汉代楼架采卤（或类似楼架采卤）颇为盛行。这种采卤一直延续到现代，如云阳盐厂白兔井的采卤方式，就为大口盐井开采提供了一个典型的“实例”。

（一）采卤机械装置

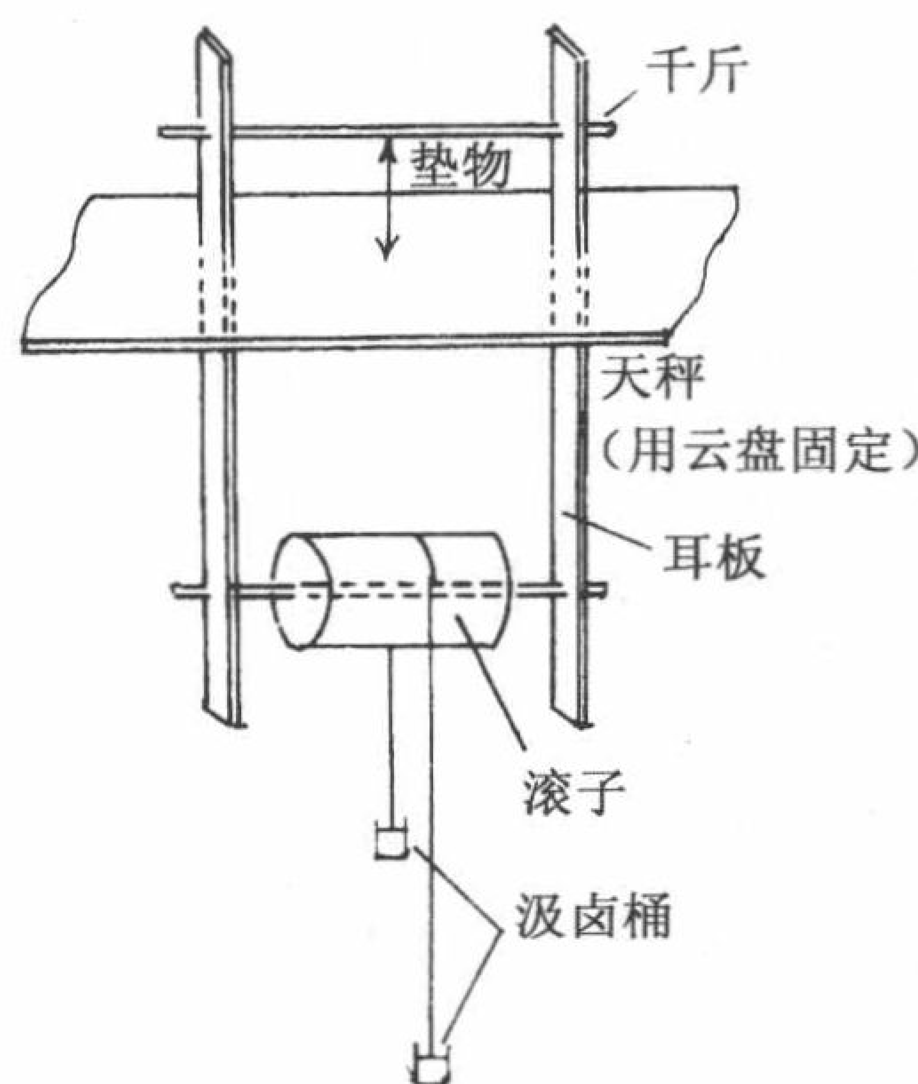



**图3－4 白兔井采卤机械装置**
**采自：白广美《川东、北盐业考察报告》**

盐井上面覆盖有一木制结构房屋，盖房的作用有二：一是可避雨遮日；二是采卤装置安设在屋顶的横梁上。二者都为了便利井上工匠采卤作业。其装置组成有上部为千斤与上耳板穿接；中部为天秤，由井房横梁上的木板（俗名“云盘”）固定；下部为一定滑轮（俗称“滚子”）的轴心与下耳板穿接。滑轮系用硬木如青杠、白杨树等制成。提卤绳系于滑轮上。绳索则用棕扭紧而成，外缠麻，棕绳两端分别吊拽水木桶一个。则为采卤机械装置（见图3－4）。

（二）采卤方式

采卤装置环绕井口安设，共计20架滑轮，悬吊40个提卤桶，由一个工班（小组）20名拽水工同时作业。采卤时，工人沿着井口站立在平台上，两手上下交替用力拉动绳索，由于滑轮的滚动，便带动木桶一上一下提取井里卤水。卤水提出井口后，倾倒入地面卤盆里，然后通过盆底安置的竹笕（管）输送至灶房储卤桶内，备用煎盐。这种采卤方式，一直沿袭到20世纪60年代初（见图3－5）。




查史籍记载，白兔井的采卤方式与20世纪60年代初是一致的，据《四川盐法志》云："其汲水用绠（即绳索）、绠施辘轳，两头各系一桶，桶之出入，任人之上下"采卤。[57]又据《中国盐政实录》述道：白兔井"采卤系制井楼于上，架一天滚（即定滑轮），以为井索上下之轴。索之两端系小木桶，人立井旁挽索，循环汲卤。小桶出口则将盐水倾入大木桶内，以竹枧（管）① 引水至灶房贮水桶内。""架的周围挂滑车（即定滑轮），每个滑车之上有麻制绳索，绳的两端，各系一汲卤小木桶，由未着衣服的井工用两手持绳，上下扯动，将卤水提起。"[58]白兔井采卤方式，与汉画砖图像上的采卤法亦极其相似。不过，白兔井规模更大，采卤工匠更多，盐卤产量也更高。

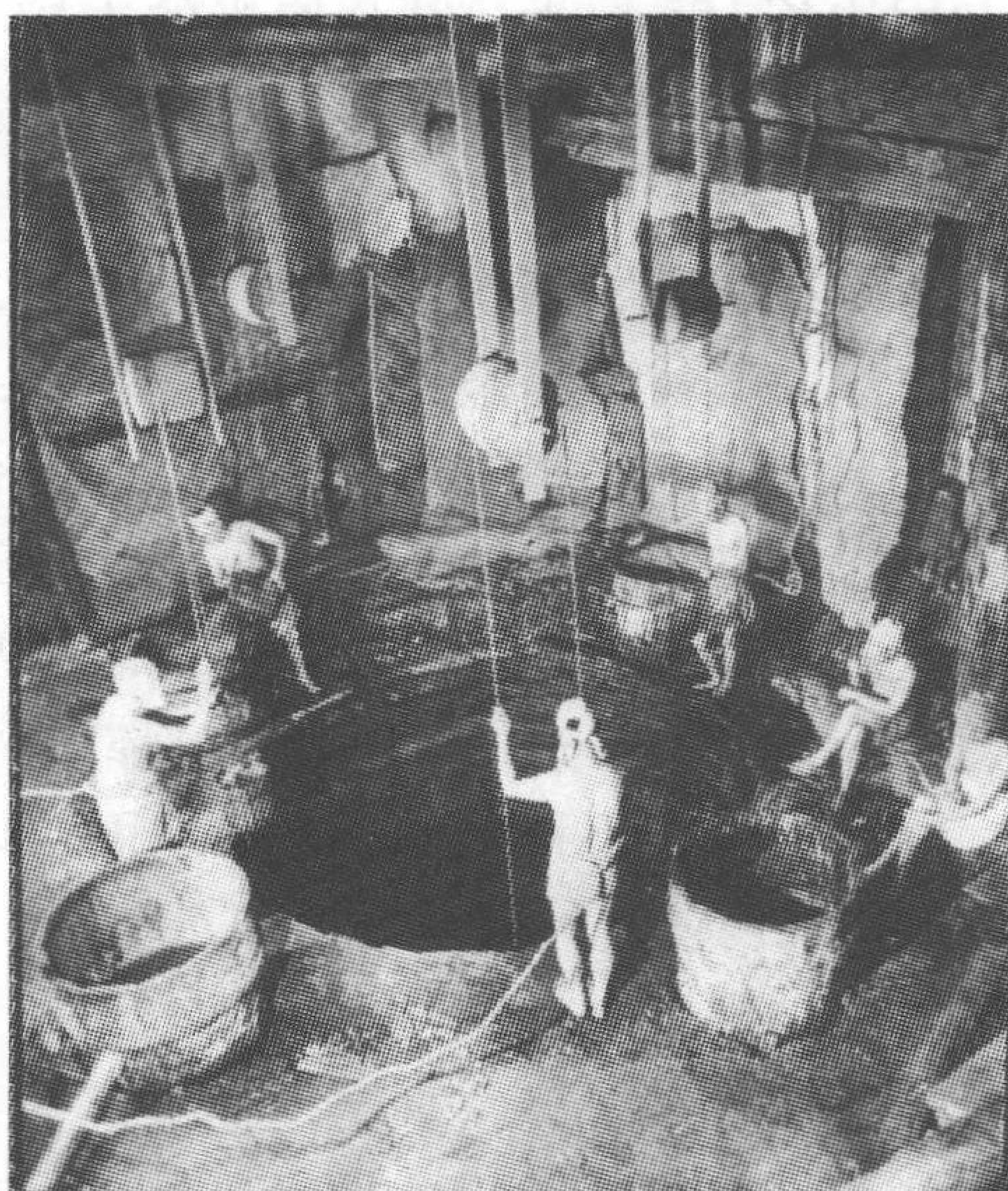


图3－5　白兔井采卤方式
西汉川东云安白兔井遗址

（三）采卤劳动强度大

采卤工人站立井口，汲桶速度快，上下往复如梭，每小时采卤100桶左右。因此，工匠劳动强度大。据《云阳县志》云："挽汲剧苦，必番休以节其劳，向燃炷香为率（以燃香计时，折合工效）。今则别置桶贮水，底如小穴，渐渍外泄，俾一人钲司之，水竭钲鸣，汲者互易，谓之轮班。向例昼夜三十六轮，后渐增为六十四至八十二轮。健者勤者或连挽二三轮始休，乃依轮受值。场中汲夫手足为卤水所渍，皱皴脱落，见而认之。"[53]从前盐场还流传着一首民谣："头顶千斤耳板，脚踏万丈深渊。热天汗如雨下，冬天如揹冰山。"② 这是井上采卤工人艰苦劳动生动的写照。

综上所述，白兔盐井位于川东云阳县云安镇上，凿井采卤自西汉开始，一直延续至今，已有2 000多年的悠久历史。且这口盐井井身结构及地面设施仍保存完好，可真实地、完整地再现我国早期大口盐井的模式，却是不可多得，实为我国和世界井盐史上少见。

该井建成，裸眼直径4.12米，全井深53米。用木枋扣榫接构成八面形套管，下入井中固井，隔（淡）水护（井）壁，其坚固耐用，设计精巧，井身结构合理。这是先民们伟大的创造。从而为后来宋代卓筒井的发明及明清时代改用木柱套管固井开了先例。

该井采卤方式，全套采卤装置设在屋顶的横梁上。采用定滑轮上系绳吊木桶采卤，工效高，产量大，同时劳动负荷重。这种采卤方式，在当时还是比较先进的。

---

① 枧与笕在盐场通用，即用竹管相连起来输送卤水的管道。

② 作者考察现场实地采集。



采卤井场，由20名工匠，每人手持一条绳（共计20条绳），绳的两端各悬卤桶一个（计40个桶），大家一起围着井口同时作业，生产场面，热闹非凡，一派繁荣景象。

由上可证，西汉初，川东白兔盐井的凿井工程技术及采卤方式，在北方中原地区打水井的奠基上，又有新的发展。

# 参考文献

[1] 张传玺：《中国古代史纲》（上），北京大学出版社，1985 年。
[2] 刘琳：《〈华阳国志·蜀志〉校注》，巴蜀书社，1984 年。
[3]《汉书》卷三一“项籍传”。
[4] 李世平：《四川人口史》，四川大学出版社，1987 年。
[5] 徐仲舒：《古井杂谈》（先秦古井探源），载《井盐史通讯》，1977 年第 1 期。
[6] 中国科学院考古研究所：《沣西发掘报告》，文物出版社，1962 年。
[7] 天戈：《北京出土文物》，北京出版社，1980 年。
[8] 河南文物考古研究所等：《三门峡虢国墓》，文物出版社，1999 年。
[9] 郑绍宗：《热河兴隆发现的战国生产工具铸范》，载《考古通讯》，1956 年第 1 期。
[10]《易县燕下都 44 号墓葬铁器金相考察初步报告》，载《考古》，1975 年第 4 期。
[11] 孙廷烈：《辉县出土的几件铁器的金相学考察》，载《考古学报》，1956 年第 2 期。
[12] 山东博物馆：《临淄齐国故城勘探记要》，载《文物》，1972 年第 5 期。
[13]（宋）李焘：《续资治通鉴长编》卷八。
[14] 四川历史编写组：《四川历史》（上册“古代部分”），四川人民出版社，1982 年。
[15]（唐）李吉甫：《元和郡县志》卷三三。
[16]（晋）常璩：《华阳国志·巴志》。
[17]（宋）王象之：《舆地纪胜》卷一一八“大宁监”。
[18] 廖品龙：《试论张若在成都置盐、铁市官与李冰穿广都盐井》，载《井盐史通讯》，1977 年第 2 期。
[19] 林元雄、宋良曦、钟长永等：《中国井盐科技史·井盐地质概述》，四川科学技术出版社，1987 年。
[20] 郦道元：《水经注》，第六册卷三三“江水”，商务印书馆，民国十八年版。
[21] 浙江省文物管理委员会、浙江省博物馆：《河姆渡遗址第一期发掘报告》，载《考古学报》1978 年第 1 期；又河姆渡遗址考古队：《浙江河姆渡遗址第二期发掘的主要收获》，载《文物》，1980 年第 5 期；还有朱仲岳：《河姆渡遗址》，载叶保民：《十大考古奇迹》，上海古籍出版社，1989 年。
[22] 洛阳博物馆：《洛阳矬李遗址发掘简报》，载《考古》，1978 年第 1 期。
[23] 安阳地区文物管理委员会：《河南汤阴白营龙山文化遗址》，载《考



古》，1980 年第 3 期。
[24] 北京大学、河北省文化局邯郸考古发掘队：《一九五七年邯郸发掘简报》，载《考古》，1959 年第 10 期。
[25] 河南省文化局文物工作队：《郑州二里岗》，科学出版社，1959 年。
[26] 李京华：《河南古代水井及提水机械发展史》，载《河南水利史料》，1987 年第 2 期。
[27] 中国科学院考古研究所洛阳发掘队：《河南偃师二里头遗址发掘简报》，载《考古》，1965 年第 5 期。
[28] 河北省博物馆等、台西发掘小组：《河北藁城县台西村商代遗址 1973 年的重要发现》，载《文物》，1974 年第 8 期。
[29] 湖北省博物馆、江陵纪南城考古工作站：《楚纪南故域》，载《文物》，1980 年第 10 期。
[30] 据（晋）《华阳国志》卷一“巴志”及卷三“蜀志”；《汉书·地理志》；（唐）李吉甫《元和郡县志·剑南道下》。
[31]（宋）李昉 等：《太平御览》卷八六九。
[32] 章鸿钊：《石雅》（第 191 ~ 192 页），1927 年再版本。
[33] 据刘昫等：《旧唐书》卷四一、李吉甫：《元和郡县志》卷三三、杜佑：《通典》“食货十”、欧阳修等：《新唐书》卷五四及乐史：《太平寰宇记》卷八五共统计县数。
[34] 沈括：《梦溪笔谈》卷一三。
[35]（明）曹学佺：《蜀中名胜记》卷二一“下川东道·夔州府一”。
[36]（明）曹学佺：《蜀中广记》卷六六“方物篇”。
[37]（清）陈梦雷等原编，蒋迁锡等重编：《古今图书集成》，坤舆典卷四〇“井部彙考二·潼川条”。
[38] 吴炜等：《四川盐政史》卷二。
[39]《全唐诗》卷二一八“盐井”；又（清）丁宝桢主编：《四川盐法志》卷四（收录）。
[40]（宋）欧阳修等撰：《新唐书》，第四册卷三八。
[41]（明正德）《四川志》卷二五。
[42]（苏联）Ⅱ. M·杜德科著，王海潜译：《盐类矿地下水溶开采》，1980 年。
[43]（美）Z. G·多依奇著，彭久松译：《探索者的足迹》，载《井盐史通讯》，1983 年第 1 期。
[44]（宋）释文莹：《玉壶清话》卷三。
[45]（宋）张君房辑：《云笈七签》卷一一九，引（唐）杜光庭《道教灵验记》（明张萱订，明刻本）。
[46]（宋）文同：《丹渊集》卷三四“奏为乞改陵州州名状”。
[47]（明）曹学佺：《蜀中名胜记》卷八；另见，四川仁寿县志编委会：《仁寿县志·建置沿革》（县志办正式印本），1988 年。





［48］高承瀛等修：《光绪井研志》卷三“疆域三”。

［49］（明）宋应星：《天工开物》卷一一“燔石·煤炭”。

［50］《宋史》卷三三三“相佐传”。

［51］自流井盐厂档案室：《郭家坳地区卤气井综合调查资料》，1957 年。

［52］四川石油管理局川西南矿区、自贡市轻工局、自贡市贡井盐厂、自贡市盐业历史博物馆联合研究：《窠盆低压采气机理研究和分析》报告，1986 年；又，丁传柏、张国焱：《窠盆低压气机理分析》，载《天然气工业》，1988 年第 1 期。

［53］（清）《云阳县志》卷十。

［54］自贡市盐业历史博物馆考察队执筆钟长永：《川东、北盐业考察报告》，载《盐业史研究》，1986 年第 1 辑。

［55］仇兆鳌：《杜诗·详注》第三册（第 1244 页），中华书局出版，1979 年印本。

［56］同参考文献［55］，第三册（第 1285 页）；又，曾枣庄：《杜甫在四川》（第 189 页），四川人民出版社，1980 年。

［57］（清）《四川盐法志》卷五。

［58］《川东盐局产销四四档案》，1957 年第一四三号。



# 第四章
## 宋代钻井技术的发明

11 世纪中叶，中国井盐生产技术发生了一次深刻的大革命，四川井研地区发明了钻井技术，即始创了钻井机械和卓筒井工艺。这项重大发明，开辟了人类钻采地下矿产资源的新纪元，同时也为现代世界钻井技术的诞生和发展奠定了基础。

川北大英乡宋代卓筒井现存遗址奇迹般的新发现，则是反映了卓筒工艺原始的形制和结构，为史籍中记载的卓筒小井提供了实物见证。卓筒井虽是最先在川北地区研制成功，但是井深向纵深开拓没有重大的突破，而最终是在川南自贡地区钻深超千米大关，从而把卓筒工艺提高到了崭新的阶段。经考究，卓筒井乃是民间匠师发明的一种“私井”。它的生存、发展与“官井”的斗争，历尽坎坷和艰辛，这是中国科技史上罕见的事件。

## 第一节 宋代钻井技术发明的社会原因

北宋经济的繁荣，社会对食盐的急需，盐业政策的改革，则是钻井技术发明的重要原因。

### 一、北宋社会经济的繁荣和科技的辉煌成就

#### （一）北宋社会经济的繁荣

960 年，宋太祖赵匡胤策动陈桥兵变，黄袍加身，夺取后周政权，建立北宋王朝。全国除了有时与北方辽、夏对峙及腹地四川发生 20 多年的战乱外，便开始了百余年的和平安定、经济恢复及发展时期。

北宋时期，社会经济关系开始发生了土地所有制占有方式和剥削方式的新变革。宋政府规定，把有土地的人家，称为“主户”，又把无土地而佃耕地主土地的人家，称之为“客户”，也就是“佃户”。佃户编入户籍，向地主交足租后，不再额外负担劳役地租，承认“佃户”身份的合法地位。租佃制度的建立，使广大佃户摆脱了前代对地主的人身隶属关系，这种新的变化，有利于社会生产和经济的发展。

农业的发展。北宋时，耕地面积迅速扩大，新开辟的农田如圩田、山田等大量出现。宋真宗天禧五年（1021 年），全国垦田面积为 524 万余顷，到宋英宗治平年间（1064—1067）全国增至约 1 000 余万顷[1]，使北宋的垦田面积迅速扩大。同时农具的改进提高了工效。如北方除草用弯锄，碎土用铁耙；南方如湖北发明了秧马，农民骑上秧马插秧，减少弯腰曲背之苦，而且，大大地提高了工效。为防

天旱，增强抵抗自然灾害的能力，北宋大兴水利，江南地区兴修水利建设超过北方，尤其江苏、浙江等地水利工程项目比唐朝增加了一倍。各地农民注意精耕细作，推广生产经验。大江以南种上了北方的粟、麦、黍、豆等，浙江等地推广早熟稻，产量大大提高，由每亩可收一石，增加到二三石。经济作物如茶、棉花、甘蔗等也有很大发展。

手工业的繁荣。北宋时，制瓷、丝织、矿冶、造船、造纸等手工业，都是空前繁荣。如制瓷业发达，其中著名的有官窑（河南开封）、钧窑（河南禹县）、定窑（河北曲阳）、哥窑（浙江龙泉）、景窑（江西景德镇）等[1]，其品种繁多、色彩秀丽，远销国外。丝织业，尤以四川的工艺水平最高，花色品种超过前代，深受国内外客商欢迎。随着农业和手工业的发展，促进了商品经济繁荣和城市的兴起。为便于携带和市场流通，宋真宗初，四川出现了一种新式货币——“交子”，代替铁钱，这是中国和世界货币史上最早的一种纸币。由于对外贸易和文化的交流，造船业十分发达，指南针普遍用于航海。

（二）科技的辉煌成就

在我国封建社会时期，继春秋战国、东汉之后，宋代科学技术又达到了高度发展的阶段，取得了辉煌成就。突出表现在造纸、印刷术、火药及指南针四大发明的完成和大的发展上。李约瑟博士在《中国科学技术史・总论》中评述：宋代的文化和科学都达到了前所未有的高峰。在技术方面，宋代把唐代所设想的许多东西都变成为现实。汉代已发明造纸术，到北宋时造纸业也很发达，如四川、安徽、浙江等都成为造纸业有名的产地。北宋庆历年间（1041—1048），布衣毕昇在雕版印刷术的基础上发明了活字印刷术。活字版的发明，是印刷业的一场大革命，被誉称“文明之母”。火药发明于唐，但广泛应用于宋。在宋代，随着采矿业的发展和抗击辽、夏战争的需要，于是，火药和火器的研制技术也提高到了一个新水平。北宋仁宋时曾公亮等编著的《武经总要》，其中专门介绍了火药武器的名称、用法及火药的配方等。我们的先民很早就懂得磁石可以指南，到北宋，指南针已用于航海。朱彧在《萍洲可谈》卷二云：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”足见，上述四大发明，在北宋时，已基本上完成了。

北宋社会生产的发展、经济的繁荣、科技的辉煌成就，为中国钻井技术的发明创造了条件。

## 二、社会对食盐的急需
### ——北宋初四川发生盐荒

北宋初四川发生盐荒，社会对食盐的急需，是导致钻井技术发明的直接原因。

据史实记载：北宋初，四川的盐荒主要发生在广政二十三年，太平兴国、端拱、庆历约100年间。盐荒延续时间之长，范围之广，影响之大，实属罕见。试看下列史实例证：

早在宋太祖赵匡胤建隆元年（960年），因陵井事故，就发生了食盐严重不足的状况：“陵州有陵井，伪蜀置监，岁炼八十万斤。广政二十三年（960年），井口摧圮，……后井益塞，民艰食盐。”[2]

宋释文莹在《玉壶清话》卷二中同样记载了因陵井泉脉阻塞而引起的盐荒：



"陵州盐井……自兹石脉淤塞，不复开浚，民食大馑。"

宋太祖乾德三年（965年）平蜀时，发现了西川盐缺价高，于是即诏减西川盐价，"成都民食盐斤为百六十，减六十，诸州减三之一"[3]，盐价大减，无疑对平蜀十分有利。

淳化五年（994年），转运使的知益州事张诚"访知民间旧苦盐贵，而私廪尚有余积。乃下盐价，听民得以米易盐"[4]。受到民众拥爱。

宋平蜀十余年后，到太平兴国初，四川食盐仍是一个大问题。于是太平兴国二年（978年），右拾遗郭泌上言道："剑南诸州官鬻盐，斤为钱七十。盐井深，鬻盐极苦，樵薪益贵，辇之甚艰……豪民黠吏，相与为奸，贱市于官，贵粜于民，至每斤获钱数百，官亏岁额，民食贵盐。"[5]

端拱元年（988年），为解决"西川食盐不足"，宋王朝的政策有所放宽，许商贩从各州县长途运盐至西川，以应急需："端拱元年（988年）七月，西川食盐不足，许商贩阶州（今甘肃省武都、唐县等地）、文州（今甘肃文县）青白盐、峡路（今湖北西部）井盐、永康军（今四川灌县）岩盐入川。"[5]以便急时接济。

宋初，川东大宁龙池，不费工人开凿的天然盐泉，兴旺发达，盐丰余剩。大文豪苏东坡在《金盐说》中云："疑宝货神变不可知，复归山泽耶？吾闻盐亦然，峡中大宁盐日有定数，若大商复舟，则盐顿增。"① 廖迪生在《大宁厂盐业史话》一文中说，宋初川西各地民告淡食，从大宁贩盐救济："宋初川西南各监生产下降，产不敷销，太宗端拱元年（988年），大闹盐荒，川西北各地纷纷告淡食，政府曾许商人贩大宁盐到成都附近销售。"[6]

《宋史》（卷四三九）中明确指出：四川民苦淡食，"患在盐少"。以"米二斗，方得盐一斤"[7]。这时的盐价大大超过了米价。

北宋仁宗时期（1023—1063），四川食盐产量大幅下降，社会供需关系非但没有好转，反而矛盾更加突出，加之人口的增殖，出现了严重的盐荒。

据《新唐书·食货志》载："唐有盐池十八，井六百四十，皆隶度之。"

北宋初，四川盐井数量，大致上和唐末相当。据《文献通考》卷一五载：四路六监，井604口，年额盐产量为16 213 100斤。又《宋史·食货志》载：四路六监，盐井数为632口，岁盐产323 392石，以"石五十斤"计，折合盐产16 169 100斤。以《通考》与《宋史·食货志》的记录盐产量相比基本接近，反映了宋初的生产水准，此据可靠。但又据《宋史·食货志》统计，到仁宗时期（1023~1063年），四川梓、利等四路，总计有盐井728口，但年产盐量为7 654 485斤，即岁产盐量不足800万斤，降至宋初以来的最低水平。社会供求关系矛盾更加突出，出现了"盐贵则不足"。"先是益利盐入最薄，故并食大宁盐、解池盐，商贾转贩给之。庆历（1041—1048）中，令商人入钱货益州以射大宁监盐者，万斤增小钱千缗，小钱十当大钱一。贩者滋少，蜀中盐踊贵，斤为小钱二千二百"[5]。邛州盐价由每斤20~30文，陡涨至140文。

北宋初，四川内地经过20余年连绵的战乱之后，基本上再无大的战乱。整个

① 苏东坡《金盐说》（全文），由《四川盐法志》卷四收录。





北宋时期，四川处于相对稳定发展之中，社会生产力的发展达到了前所未有的水平，农业，手工业、商业等各方面都呈现出繁荣的局面。在此基础上，户口迅速地恢复，人口得以猛增。北宋乾德三年（965 年），四川为 534 029 户，到仁宗中期（庆历元年），户数增至 1 358 313 户①，如每户以“五口人”折计②，于是，四川北宋庆历元年比乾德三年的户数和人口增长了 2. 54 倍。由此，盐产量大幅度的下降，人口的急增，造成食盐的奇缺。

北宋时，年人均用盐量大为减少。乾德三年，一年每人平均用盐约 6 ~ 10 斤。古时，四川民间有名俗言：“不咸不淡，一年每人九斤盐。”按一般要求，一年每人基本尚能够食盐用量。但是，到仁宗时期，人平均每年用盐量仅有 1 ~ 1. 88 斤，远远不能满足民众的需求。因此，这一时期，四川盐荒最烈。见表 4 – 1。

**表 4 – 1　北宋初四川民众年均用盐量**

| 时间 | 户数 | 人口（口） | 食盐产量（斤） | 每人平均盐量（斤） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 北宋初（乾德三年） | 534 029 | 2 670 145 | 16 213 100 | 6. 07 | 每户平均按 5 口计 |
| | | 1 602 087 | | 10. 12 | 每户平均按 3 口计 |
| 仁宗中期庆历元年 | 1 358 313 | 6 791 590 | 7 654 485 | 1. 13 | 每户平均按 5 口计 |
| | | 4 074 939 | | 1. 88 | 每户平均按 3 口计 |

表中人口数据引自李世平《四川人口史》。食盐产量：引自《文献通考》卷一五及《宋史·食货志》。

综上得知，北宋四川发生盐荒延续长达约 100 年间，其中以仁宗时期最严重。人们为了寻求生路，向地下开拓，钻井、采卤、制盐，以满足社会广大民众的急需，因而，导致了钻井技术的发明。

## 三、北宋仁宗时期盐政的改革

### （一）北宋初的盐政

北宋初，盐业政策仍沿袭五代旧制，推行国家专卖制度，即“官自鬻（煮）盐”[5]。其经营方式主要为：“大为监，小为井。监则官掌，井则土民干鬻，如其数输课。”[5]即大井由官方设监，经营管理，完成岁额，如数纳课；小井，由于分散，产量有限，官方不直接经营管理，可由当地“土民干鬻”或民煎，取课办法，“令干鬻者有羡利，但输十之九”[5]。可见，民煎输课之重。

为此，北宋自统一以来，为使天下盐利归官府，特别“重私贩之禁”[8]。由于

① 据李世平《四川人口史》统计，四川北宋乾德三年（965 年），户数为 534 029 户，迄至元丰三年（1080 年）增加到 1 781 301 户，前后 115 年，平均每年增户 10 846 户。由此推算，从乾德三年（965 年）至庆历元年（1041 年）共计 76 年，应增加 824 284 户，再加上原基数 534 029 户，则仁宗庆历元年（1041 年）总计为 1 358 313 户。

② 据李世平《四川人口史》（105 页）云：“中国古代历朝户口统计数字都是每户平均有 5 口上下。”若每户按 5 口人计，故庆历元年，四川有 6 791 590 人口。但是，李心传《建炎以来朝野杂记》甲集卷一七云：“蜀中户口率以十户为三十口弱”，即每户平均为 3 口人弱。此数与《四川人口史》统计崇宁元年（1102 年）是吻合的（户数 1 833 790，人口数 5 254 992，则每户平均为 2. 86 人）。如每户以 3 口计，则庆历元年，四川总计为 4 074 939 人口。



盐的专卖，主要有官鬻和通商两种形式，严重地束缚了生产力的发展，阻碍了商品的流通，因而，在国内一些地区造成盐价高，盐质低劣，食盐紧缺，人民深受其害的恶果。

（二）盐贵伤民，无盐则乱

由于食盐（紧缺）供不应求，因而引起盐价不断上涨。四川的盐价在乾德三年每斤为160文[3]；太平兴国三年每斤为70文，后增为150文[9]；庆历六年每斤为140文，后增至220文[10]；熙宁九年每斤为250文，贵时要用二斗米兑换盐一斤[11]。由于官盐价贵，质量低劣，民众都不愿购买，官府只好采取强行抑配。据《宋史》卷一八一记载：抑配制度，是将官盐“遂至抑配”到户。同时规定：“买官盐食不尽，留经宿者，同私盐法”论罪。这种配盐制度和食盐规定，大伤民感，民怨鼎沸。

宋朝统治者推行“恩逮于百官者，唯恐其不足；财取于万民者，不留其有余”[12]的恩官刮民政策，激起了农民的起义和反抗斗争，庆历年间达到高潮，农民和士兵的起义一年多于一年，一火强于一火。北宋统治者集团中的一些人感觉到危机的存在。知谏院欧阳修在奏议中说：“夷者，皮肤之患尚可治；盗贼者，腹心之疾深忧。”[13]四川就有茶农王小波、李顺的大起义和民众的动乱。乾德三年（965年）至皇祐元年（1049年）多达20余起，其中约一半与食盐问题有关[14]。如至道二年（996年），黔州（今四川彭水县一带）少数民族为夺得盐井，与官兵发生斗争，“蛮寇盐井，巡检使王维节战死”[15]。大中祥符二年（1009年），四川西南部属成都路“黎州（今四川汉源）夷人为乱……曙按行盐井，夷人复叛”[16]。皇祐元年（1049年），蛮夷众万余人复围淯井监，水陆不通。宋朝统治者命令益州及梓、夔两路官兵总计2万人镇压，战死者甚众，民兵饥死者殆千余人。经过数月的战斗，方告平息。[17]可见，为盐斗争之激烈，伤亡之惨重，实属少见。

（三）北宋仁宗时期盐政改革的举措

北宋王朝为了巩固其统治，稳定政局，为防避四川腹地因盐荒引起的战乱扩大，内忧加外患，危及北宋王朝政权。于是，仁宗时期，不得不改革盐政，采取各种措施，发展井盐业，缓解盐荒，这些举措是：第一，增开新井96口，[18]至仁宗时期井数为728口；第二，允许商贩从各地贩运食盐到四川缺盐地区转卖，“旧禁盐地一切通商，盐入蜀省，亦恣不问”[19]，第三，蠲减各井欠课；第四，改善井户、役夫待遇。这些措施在当时是积极有益的。尤其允许增开新井，这是一大改革。北宋初，新开盐井，规有禁例，无论官方或民间经营的盐井都有定额，不得随意增减。在宋王朝三百多年中，允许增开新井，先后仅有四次：第一次是仁宗时期；第二次是哲宗时期中；第三次是徽宗政和中；第四次是南宋绍兴年间。① 为此，仁宗时允许开凿新井，为宋代开了先例，成为盐政上一大改革。卓筒井发明，也是在仁宗庆历皇祐年间，这并非巧合，而是与盐荒有直接原因。

当然，中国钻井技术的发明，除与社会原因有关外，还与自然条件及技术思想有密切关系（见第12页第一章第一节之：四、我国古代钻井技术发明和完善的主要因素）

① 《宋史·食货志》云：绍兴三年，四川总领赴开改革盐法，规定井户开新井或淘修旧井及煎盐多少不受限制，但要按实际产量交售官府并纳税。

## 第二节　钻井机械的发明

我国井盐生产技术，源远流长，早在战国末期[20]就开始了①。到北宋庆历皇祐年间，我们勤劳聪颖的先民，在人类历史上首次发明了深井钻井机械，特别是“圆刃”钻头的发明，及用它开创了的卓筒工艺，故此称“卓筒机械”。“机器不仅代替了活劳动，而且还代替了劳动者及手工工具。”[21]由于这种机械先进，井匠在地面操作机械钻井，比以前人工手持锄、锹等原始工具，在井下艰苦作业，挖掘大口盐井，具有钻井速度快、成倍提高工效、大幅度降低凿井成本、获利甚丰等优点。因此，钻井机械的发明，乃是我国及世界井盐史上一次大的革命。

当时，大文学家苏轼的家乡四川眉山，就是卓筒机械普及地区之一，他亲眼目睹了卓筒井的开凿和生产，于是，他在《蜀盐说》中云：“凡卓筒皆用机械，利之所在，人无不知。”[22]“又有小井，谓之卓筒，大不过数寸，深亦数十丈，‘以竹筒设机抽泉’。”[23]关于钻井机械或卓筒机械的原理、结构及设置如何，苏轼等的记述太简略，同时，又未留下任何图像可参考。幸好，新发现了川北大英乡卓筒井遗址并保存完好，现存盐井总计41口，[24]与史籍记载的卓筒井相符合，它是宋代卓筒的一个缩影，对于今天考证和研究当时钻井机械的类别、布局及应用，提供了实物凭据。

所谓“机械”一词的定义，今学术界、产业界都有不同的理解。古人曾把“机械”规定为“用力少而见功多”的器械。如《韩非子·难二》篇云：“舟车机械之利，用力少，致功大，则入多。”北宋至清代，“用于盐井、火井方面的深井钻掘机械，是一种复杂的多样化的机械组合和技术发明。所谓深井钻掘机械，它的具体内容，不是指某一种钻凿器具，乃是代表着整套的机械结构和系统的工作方法”[25]。宋代的机械“在各个部分的装置及使用上，取得了很大的成就，创造发明了整套的机械生产工具”[26]。根据盐井钻探必须要的机械，同时结合川北大英乡卓筒井现场遗址，由此可知，钻井机械（即卓筒机械），起码应该包括三大部分：其一，动力（打井、升降）部分，如碓架、花车等；其二，支撑部分，如井架（俗称“引杆”）、滑轮等；其三，钻井部分，如各类钻井及修井工具。三大部分在正式作业中，相互紧密配合，组成一个复杂的机械系统。卓筒机械虽是由各种简单机械构成，但其基本原理和设置同现代钻井类同。在此，将几种代表机械分述于后。

### 一、现代深井钻头的鼻祖
### ——关于“圜刃”钻头[22]发明的考证

北宋中期发明的“圜（圆）刃”锉，是由人工手持原始工具挖井发展到用机械钻井的重要标志，也是世界深井钻采工艺首次重大的发明——人类史上第一代钻头。因而称之“现代深井钻头的鼻祖”。至明清时期，由于钻井机械的改进和完

① 新石器时代晚期至战国（或秦代），四川为泉盐生产时期。战国末，四川开始凿井取卤，井盐生产由此肇始。



备，从而使钻井水平达到了一个新的阶段。

（一）关于“圜刃”钻头的史载

当“圜刃”和“卓筒井”新技术出现后，立即在民间受到了普遍的欢迎：“后来其民尽能此法，为者甚众……访闻豪者一家至有一二十井，其次亦不减七八。……嘉州并梓州路荣州疆境甚密，彼处亦皆有似此卓筒盐井者颇多，相去尽不远三二十里，连溪接谷，灶居鳞次，又不知与彼二州者工匠移人，合为几千、几万人矣。”[27]

由上述充分说明：民众得到了“圜刃”钻头，用于开凿“卓筒井”，自此，“卓筒井”如雨后春笋般地发展起来，“连溪接谷”“灶居鳞次”，遍及川北及川南各地。

对于“卓筒井”新工艺，一般都比较容易理解，近十余年来一些学者连篇发表专论，成果甚丰。但对于直接用于开凿“卓筒井”的“圜刃”钻头，其文却寥寥无几，迄今为止，对它的认识尚待研讨。

“圜刃”钻头和“卓筒井”出现于北宋中期，距今已900多年了，当时苏轼、文同等名人的著作中，对“圜刃”钻头的记述颇详。清人宋治性、陆文祖、李芝的著述中也涉及了“圜刃”锉。

苏轼（1037—1101），是我国历史上的大文学家、诗词家，四川眉山人。当时他的家乡眉州正是“卓筒井”普及地之一，同时又与“卓筒井”发明地井研毗邻。因此，他对“圜刃”钻头及“卓筒井”的发生与发展最清楚，在《蜀盐说》里记述较翔实，史料价值最大：“自庆历（1041—1048）、皇祐（1049—1054）以来，蜀始创筒井，用圜刃，凿如碗大，深者数十丈。……凡筒井皆用机械。”[22]苏轼叙述了“圜刃”和“卓筒井”发明时代、钻头大致的形制、“卓筒井”的深度、钻井和生产用了先进的机械、获利甚丰及信息传递等。卓筒井的优越性，已是家喻户晓、人人皆知了。

诗人、书画家文同（1018—1079），四川梓州永泰（今四川盐亭县）人。先后通判邛州（今四川邛崃）、汉州（今四川广汉），知普州（今四川安岳）、陵州（今四川仁寿县）。文同是四川人，步入仕途后，曾多次在四川做官，他在陵州（今仁寿县）做知州时，主张封闭“卓筒井”（私井），维护官井（大井）的利益。因此他对“卓筒井”亦是了如指掌。文同《丹渊集》卷三四《奏为乞差京朝官知井研县事》述道：“盖自庆历以来，始因土人凿地植竹，为之‘卓筒井’，以取咸泉，煮炼盐色。……恣用镌琢，广专山泽之利，以供侈靡之费。”

文同的奏折，主要说明“卓筒井”开凿用的工具是“镌琢”，开凿时间为北宋庆历年间（1041—1048），基本与苏轼的记载吻合。

清嘉庆元年（1796年），井研知县陆文祖赋诗《盐井歌》：“仙井之乡盐井湾，熬波出素供盘餐。天生斥卤实不测，不生于水生于山。地师陟降相地脉，铮铮圆刀裂山骨。”[28]

陆知县的歌中提到凿井钻头是圆刀，其著称与苏轼“圜刃”相一致。同时清代井研地区盐井生产用牛作动力，升降为旋盘车。而现在川北有的地区仍用花车汲卤，反映出早期生产方式。




清咸丰元年（1851 年）恩贡生宋治性在《宋治性盐井歌》里对用于凿井的钻头仍称“圆刀”。“高山凿井百丈深，井深一丈千黄金。井水不知在何许，年来已是三易主。东山山匠巧心力，能补地罅穿鳌背。脚踏圆刀二百斤，凿断千山万山脉。”[28]

清人进士李芝在《盐井赋》中述到灵巧的“圜刃”。“夫盐井者，潜穿地穴，倒翕洪涛。山泽通灵，水火相遭。熬波成石，熔液为膏。虽沿像于夙沙，实属巧于圜刃”[据乾隆四十二年（1777 年）《富顺县志》著录]。高度概括了钻井、采卤及熬盐井盐生产的三大环节，并强调了“圜刃”凿井工具在井盐生产中的重要作用。

“圜刃”钻头自北宋初发明，到明代后期得到了改进，如射洪地区凿井改制的大铁钎和小铁钎。但是，由于四川各地盐卤资源埋藏深浅不一，地质情况各异，盐井的产量大小和卤水的含盐量高低不同等原因，钻井工具、开采设备、生产方式等技术水平亦相差悬殊，发展极不平衡（川北现存的盐区如三台富顺小口深井和大英乡卓筒井足以说明这一点）。“圜刃”钻头迄宋初至清初乃至清末，有的地区（如井研）仍然继续沿用，这是不难理解的。清初仍以“圜刃”开凿“卓筒井”，这在《乾隆富顺县志》卷二中有明确记载：卓筒井“井深百余丈（320 米），大径八九寸（25.6 ~28.8 厘米），咸水在底，以巨竹去节，入井七八丈（22.4 ~25.6 米），隔去淡水，则咸水至上，井口架二巨木，高二三丈（6.4 ~9.6 米），上置辘轳，数丈（约 28.8 米）外，覆置车盘，以长绠系车由辘轳过，绠系竹筒入井，筒去节，底缀熟皮，自可开闭，下入则开，水满则闭，涓滴不渗，用牛马挽上，致水数石，可煎一斗。井皆人力为之，积年始成，岁久水涸，则为废井。”

清初与宋初的卓筒井相同点主要有三：其一，用“圜刃”锉开凿筒井；其二，以竹筒连接（套管）下入井中，封隔淡水；其三，用泥筒（竹制）捞取井底泥沙。但是清初与宋初筒井的不同之处大致也可归结为三个方面：第一，井略有加深，由“几十丈（最深 276.48 米）”，加深为“百余丈（320 米）”，与明代后期射洪地区盐井深度相同；第二，井径增大，如外径，由约五六寸（15.4 ~18.4 厘米）增至为八九寸（25.6 ~28.8 厘米），由此推断内径相应也有增大；第三，“圜刃”型制没有什么改进，但是，规格上发生了变化。

（二）“圜刃”钻头的形制

按钻井工具的连接及凿井原理、工具的制作，“圜刃”锉的结构可分为上、中、下三个部分。上部称云头（连接部分），直接与篾或绳索连接（不用转槽子或称带槽子）；中部为扁杆（与传统工具的圆杆不同），上连云头，下接钻头；下部为钻头，末端为圆刃。在三部分中，以钻头最为重要。苏轼称之为“圜刃”锉，也是根据钻头的几何形状来命名的。

关于“圜”即通“圆”。“刃”作“刃锋”“刀口”释。这与清人陆文祖、宋治性的“圆刃”完全是一致的。苏轼取名的“圜刃”作“圆刃”或“圆刀”解。亦即是呈圆形而锋利的钻头。

另外，文同在奏折中云：“恣用镌琢，广专山泽之利，以供侈靡之费。”“镌



琢”是新式的凿井利器，开办私井，以获得优裕的物质生活。

由此“镌”释为利器，“镌琢”这里指凿盐井的铁器，即钻头。“镌”的形状如何？文同没有详细记载。可能与苏轼叙述“圜（圆）刃”钻头相同。

总之，“圆刃”的史籍较少，而且非常简略，研究起来难度很大。正如英国著名科学家李约瑟博士所说：“由于文人们对科技方面……记录予以节略，以至于使我们常常找不到具体细节。”[29]“在古代中国科学、技术以及医学术语中包含有一些模棱两可的东西，因此，要确定这些术语在含义范围内的高低、深浅的任务还是一个很重要的问题。”[29]“如果将那些术语原封不动地照搬下来，人们将无法理解；如果机械地套字典上的释义，会显得古板、奇怪……而且也不准确；如果用正在流行的术语去代替，又容易歪曲它们的传统含义。”[29]我们对“圆刃”锉的研讨，遵循三条：第一，借助辞典或字典先理解含义，而不依附它；第二，用钻井原理加以深化，而不能脱离实际，结合当时社会生产发展水平全面考虑；第三，四川古代盐业生产各地发展不平衡，因此不能一刀切，应因时、因地而论。

苏轼以“圜刃，凿如碗大”六个字，描绘了“圆刃”钻头的基本形状，即钻头不仅呈圆形，而且有刃口，由圆和刃的结合，故名“圜刃”锉。但“圜刃”的形制究竟怎样，还是比较抽象，所以，紧接着在“圜刃”之后，加上“凿如碗大”四个字，“碗”是人们日常生活的用具，这一形象化、具体化的比喻，容易接受和理解。依六字的含义可得出：其一，圆刃钻头的原始形状呈圆形；其二，在圆形的钻头上有刃锋；其三，锉头的直径与碗口径相当；其四，碗的口径就是“卓筒井”的井径。传统的凿井钻头，都是宋代“圆刃”钻头发展、演进而来的。

根据钻井工艺、工具制作，并结合古今钻井实践认为：圆刃锉，亦就是“圆”和“刃”两部分构成，“圆”和“刃”各异，但“圆”和“刃”相依，不可分割。“圆”为钻头的干（体）部分，即扁杆之下、刃部之上的圆柱体部分，略呈台柱状。“刃”归为钻头直接做功（破碎岩石）部分，即置于“圆”部之下（钻头末端）。“圆刃”锉的形制，至关重要的是“圆”与“刃”的结构（或称组合）。不同的圆刃锉的形制亦非同，由“圆”与“刃”组合成三种形式，也就是“圆刃”钻头的三种形制：

第一种是“圆”和“刃”合二而一，称“圆刃”合一形制；第二种是“圆”和“刃”分离，称“圆刃”分离形制（见图4－1）；第三种是上述二种皆备，称“圆刃”合、分形制。

第一种：如果“圆”与“刃” “合一”，即是“圆”与“刃”同在环沿上（圆周上），则钻头是一种环形，那么，这种形制类似传统工具中的罄钟。罄钟不是用于打井，而是用来治井或修井。因此，圆刃钻头仅仅靠沿边上的“刃”锋不易破碎岩石，凿井有困难，不属凿井钻头（但这一种认为亦是有道理的）。

第二种：如若“圆”与“刃”分离，则“刃”锋横凸于“圆”底上，这种钻头称“雏银锭型”，类似于传统工具中的棒棒银锭锉。因“刃”锋突凸，切割捣碎岩石适用凿井，则属凿井钻头。

第三种：“刃”有两条，一条刃锋沿绕圆周，称圆周“刃”；一条“刃”锋通

过圆（圆柱体横切面为圆形）心又叫直径刃（俗名过梁）。这种钻头称圈刃钻头，类似于自贡市盐业历史博物馆藏品冬瓜圈钻头（但不等于冬瓜圈钻头）。冬瓜圈钻头可用于凿井，但一般不常用，在特殊情况下才使用它。

可以认为，第一种“圆刃”是一种修井工具，不属于钻井锉头；第二种“圆刃”是一种常用的凿井钻头，亦即是苏轼的“圜刃”锉；第三种圈刃锉可以凿井，但原始的“圆刃锉”结构不会有那么复杂。

（三）“圆刃 ”钻头的种类问题

“圆刃”不能认为只是一种钻头。苏轼所述的圆刃锉绝非是一种凿井钻头，而是两种基本钻头的统称。据尺度有大小之分，按凿井工艺和钻头功能又有种类之别，据“卓筒井”的井身结构，足以说明。在没有谈圆刃锉种类之前，先要了解卓筒井的规格和井深。《蜀盐说》云：“筒井……用圜（圆）

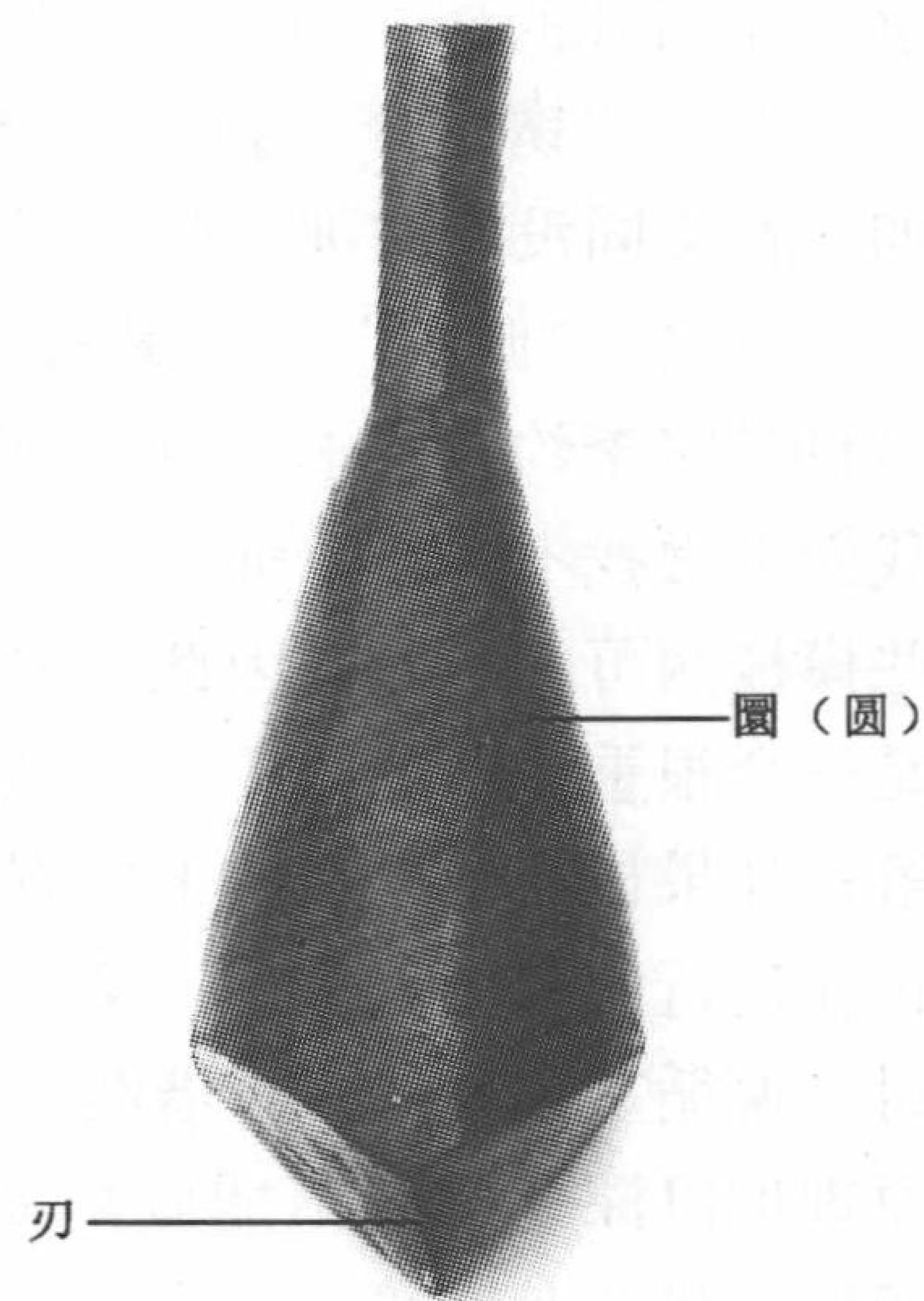



图4－1　圜（圆）刃钻头　宋代根据苏轼《蜀盐说》记载结合古代钻井原理制作

表4－2　川北盐井井身规格

| 地名 | 井名 | 井深 | 井径（厘米） | | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 内径 | 外径 | |
| 四川蓬溪县大英公社（乡） | 双眼井 | 50丈（约167米） | 10 | 14.5 | 笔者实地调查 |
| 同上 | 广兴井 | 约100米 | 8.70 | | 同上 |
| 同上 | 卓筒井 | | 9.5～10 | 15～16.5 | 《自贡盐业契约档案选辑》 |
| 同上 | 卓筒井 | 约130米 | 10～12 | 15 | 大英公社（乡）李开林提供 |
| 四川三台富顺盐厂 | 中井 | 200米 | 10 | | 笔者实地调查 |
| 乐至县 | | 20～60余丈（67～200米） | 约8 | | 《乐盐纂要补遗》 |
| 四川 | | 10丈以外（约30～276米） | 约9 | | 《天工开物》 |
| 四川射洪盐厂 | 广盛井 | 约300米 | 2.7寸（约8厘米） | | 实地调查 |

刃，凿如碗大，深者数十丈。”从表面看，好像苏轼用“碗”来仅仅比作“圆刃”钻头的大小，根据凿井原理和工具配制就知道：“筒井”、“圆刃”钻头及碗三者的



规格应是统一的（严格地讲钻头略微比井径小）。根据史记和川北现存下来的“卓筒井”活标本，可了解井径的规格（见表4-2）。

从表4-2中可看出：筒井的内径为8~12厘米，一般为10厘米；外径大约14.5~16.5厘米。1986年自贡市盐业历史博物馆在大英公社征集一件文物——凿井钻头（俗曰大杠），实测得钻头直径14.6厘米。由此而得知，苏轼在《蜀盐说》描绘的圆刃锉的直径，“碗”的口径为8.0~16.5厘米。“卓筒井”深度为10~60丈（30.72~184.32米），可能还要深些。据陵井最大井深达80丈（248.80米）推之，“卓筒井”最大井深也不会小于这个深度。

筒井的深度“数十丈”（最深276.48米），用圆刃锉凿成，井分上、下两个井段。上井段，用大圆刃凿大窍（川北称大窍，川南自贡称大口），井径14.5~16.5厘米。再“以巨竹去节，牝牡相衔为井”，即用大楠竹制作的表层套管，目的是“以隔横入淡水”，即防止淡水渗流井内及其井壁岩层垮坍，确保安全生产，延长盐井使用寿命。下井段，待表层竹套管下完后，以表层套管内径为准，用直径8~12厘米的小圆刃锉继续钻进，直至见功深度停钻，其下段全为裸眼。在钻凿过程中“又以竹之差小者，出入井中，气自呼吸而闭之，一桶致水数斗”，即采用机械泥（汲）筒捞取井内泥砂和提汲卤水。由筒井上、下井段规格尺寸和要求不同，可知钻头直径大小和种形亦不同，圆刃锉无疑应区分为大圆刃锉和小圆刃锉两种基本形制，故苏轼所说的圆刃锉不过是凿井钻头大小圆刃的总称或简称而已。

这两种基本的钻头，从宋代迄今，在不同时期有了发展和演进。北宋的圆刃锉的用途，可分为大圆刃锉凿大窍（井上段），小圆刃锉凿小窍（井下段）。明代亦分“大窍，大铁钎主之，小窍，小铁钎主之”[30]；清代的锉头分为大锉（如蒲扇锉）凿大口，小锉（如银锭锉等）凿小口[31]。因此，由上可知，钻头的种类分为大圆刃锉、大铁钎（有些地方称大冲杠）、大锉，其用途和功能相同，主要用于凿大窍、大口；小圆刃（钻头）、小铁钎（又称二冲杠）、小锉（如银锭、双马蹄锉等），主要功能和用途亦相同，主要用于凿小窍、小口。“大”和“小”的区别，不仅反映了直径大小不同，而且也反映了锉头种形的不同。我们的先人在900多年以前用于开凿“卓筒井”的新工艺中，已经设计和制作大、小圆刃两种最基本的钻头了，为现代深井钻头的出现和发展起了奠基的作用。

## 二、人力机械

### ——踩架

卓筒井是一种冲击式钻井方法，称之为顿钻。它与近代西方石油井顿钻法类似。其钻井原理是由汉唐（代）民间加工谷物用的脚碓、水碓发展演进而来——踩架。

踩架，为钻井和加深井时所用，是卓筒井地面上的一种重要机械。其结构简单，制作容易，方便实用。主要由木架、扶手及踩（碓）板三个部分组成（见图4-2）。如川北蓬溪县大英乡卓筒井钻凿曾使用过的踩架。整体结构和规格为：全长1.61米，上窄下宽，但前下宽70厘米，上窄14厘米，为置杠杆支点处；后下宽75厘米，上稍窄54厘米。总的来讲，其结构紧凑，制造精巧，下比上宽，后比前宽，以增加稳固性，同时，便于工匠踩碓作业。

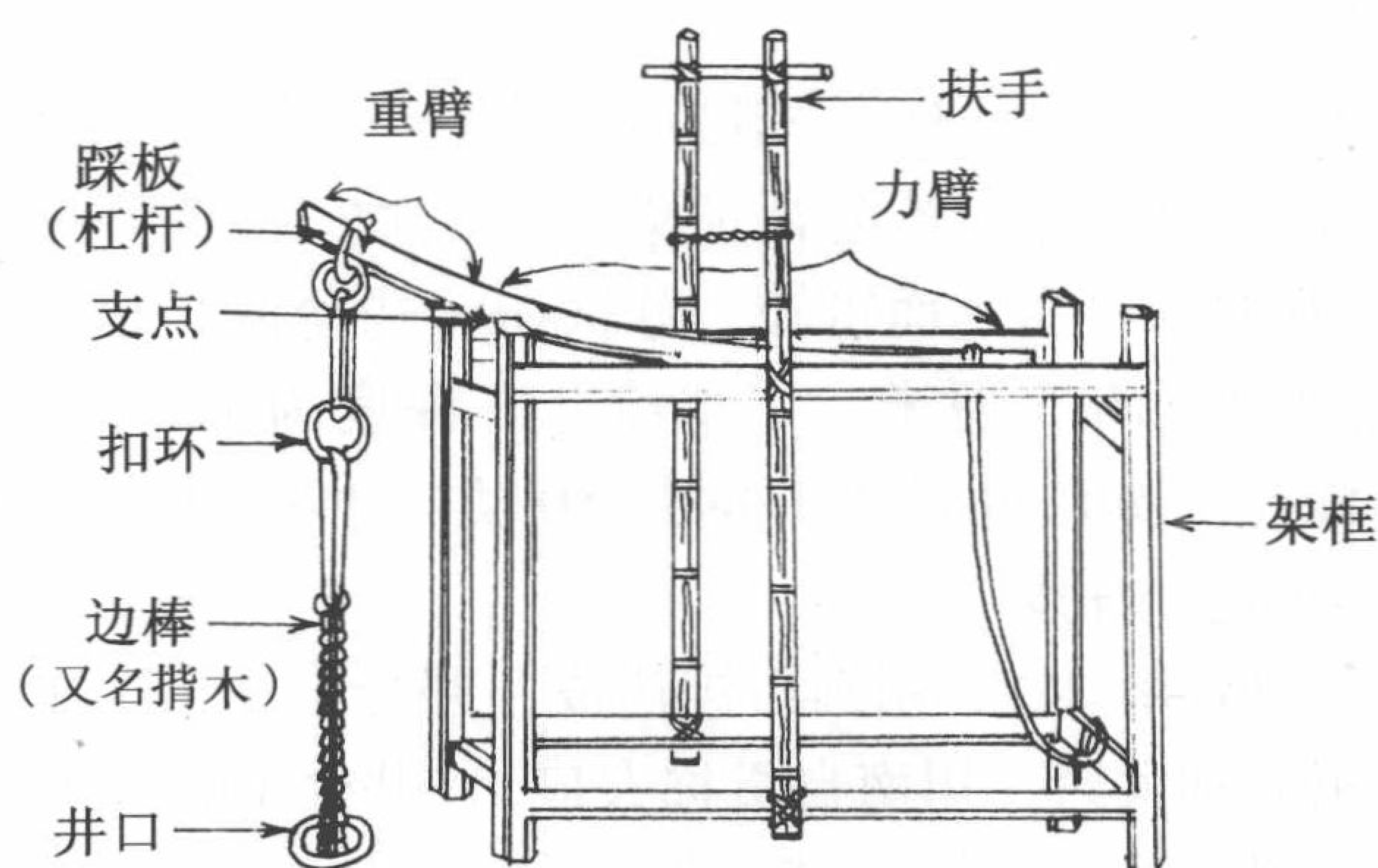



图4－2 钻井踩架
采自：高汝镕编《乐盐纂要补遗》
载：川北乐至盐场踩架

踩架钻井及力学原理。踩架钻井的力学原理是杠杆定律（又名杠杆原理）。钻井时，由一人在架上踩碓板之尾，跳上跳下，则碓（板）头一仰一俯，便带动井内钻头一上一下冲击井底岩石，如此循环往复，岩石不断被冲击、捣碎，然后用泥筒汲出泥沙，使钻井逐步加深，直至井终。卓筒井“钻凿昼夜分两班，每班二至三人，共需四人或六人。两人一班称单人碓子，由一人踩碓，一人转锉，一般踩三百多脚即相互对换。三人一班，以一人踩碓一人转锉外，还有一人休息；轮换时，休息的人上踩架，踩碓的人下来转锉，转锉的人换去休息，如此循环进行”[24]。

踩架的力学原理。川北大英乡卓筒井踩架上，设置的踩板（即杠杆）全长1.51米，宽11厘米，厚5厘米。它的力臂长1.19米，若捣碓工人平均每人体重按60千克计算，故根据杠杆定律：作用力和力臂的乘积＝阻力和阻力臂的乘积。因此，踩板（杠杆）阻力臂前端所产生的冲击力为223千克，马力折约3公制。但考虑到钻井壁的摩擦等因素外，实际上碓架产生的冲击力约为2公制马力。虽是踩架功率低，但卓筒井口径小，井深浅，钻具轻，因此，这种踩架足够满足钻井的动力的要求。

### 三、升降机械

#### ——花车

花车又名平车、盐车，俗称狗爬车，是卓筒井地面上的一种常用的设备。它是以人力为动力，用于搧泥、汲卤和修井升降的绞车。

花车的结构和型号。这种机械结构简单，外轮车盘为圆形，中央为一轮轴（轮心），用数十根硬木条（轮辐）将圆盘及轮轴连接起来即成，安置在井旁。花车的轮轴两端，由两块直立的硬石条（即车桩）支撑，承放处有凹槽，内垫竹片，减少摩擦力，便于转动灵活。同时车上还安有一条刹车带，一端固定于地，另一端由工人操作，为放工具或汲筒入井时控制车速（快、慢）所用（如图4－3）为川北大英乡宋代卓筒井现存遗址中的花车。

川北地区遗存下来的平车和盐车，其结构基本相同，但规格、型号不同。如蓬溪县河边区大英乡盐车，车盘分八格，称八方盐车，车径1.55米，宽0.75米；射洪县大于区广兴乡干井，花车用于汲卤和修井，车盘有14格，直径2.6米，宽1.1米，汲卤仍由人力踩动，现改柴油卷扬机采卤，平时花车闲置井旁，待修井时



备用；富顺三台盐厂花车，车盘为 16 格，直径约 3 米，属川北一种大型花车。

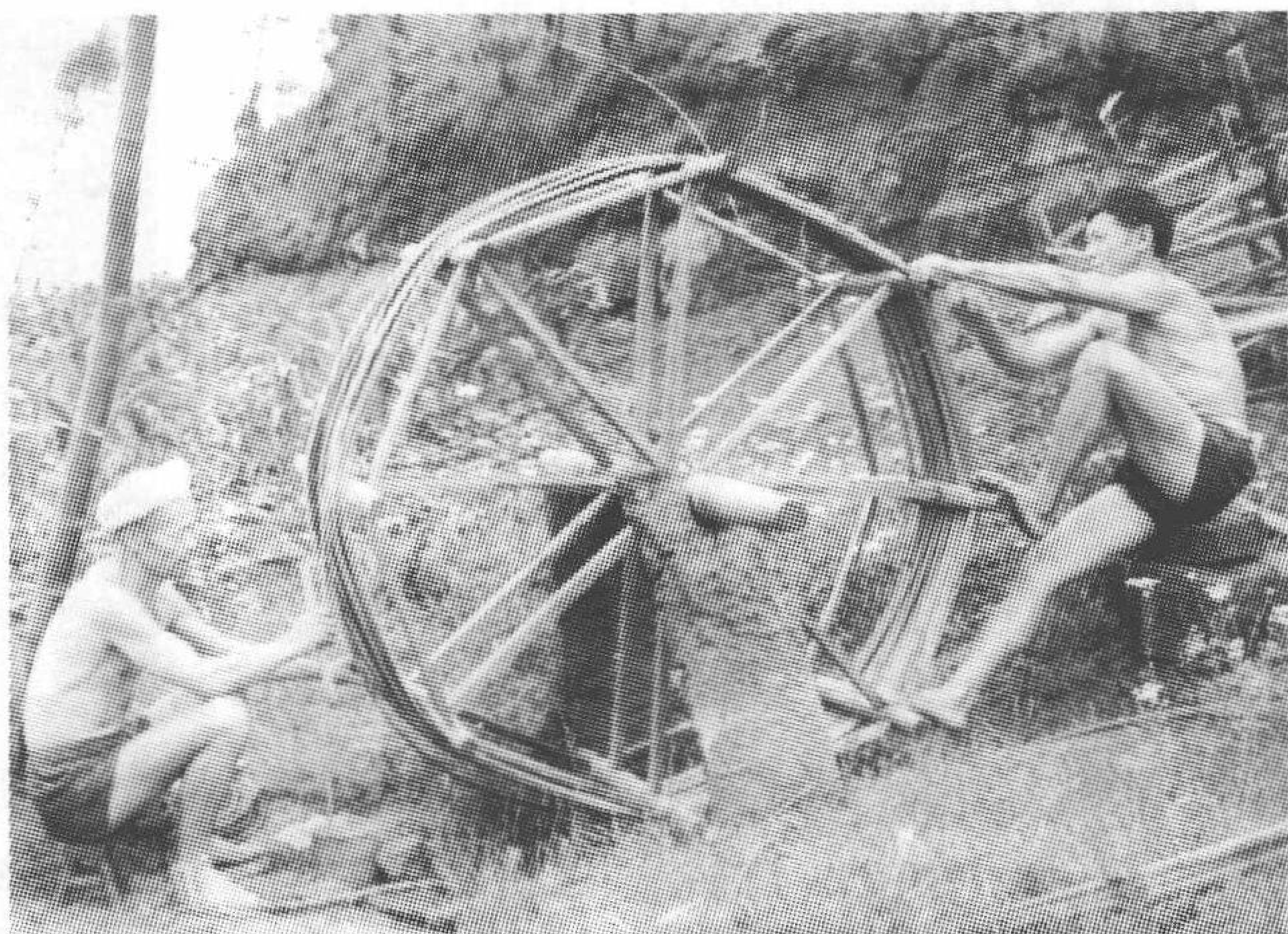


图 4－3　宋代花车（绞车）
北川大英乡宋卓筒井现存遗址

花车的功用。花车分平车和盐车两种。但根据结构和用途又有区别。平车无羊角，用于钻井和修井；盐车有羊角（称“羊角车”），用于生产汲卤。“川北各场如射蓬、简阳、南阆、乐至、三台……中江及川南之大足等十三场，盐井设备大致相同：于井之上，盖一茅草棚，且多露天无棚者；井中上置花车一架，为人力推卤之用，车旁竖一竹杆，头置滑车，另系以绳，于汲筒出井时以绳系筒引之上升[32]。

汲卤时，由操作的人控制着刹车带（俗名“勒篾”），转动盐车，将汲筒放入井底。待筒内盛满水后（如井内水少，还要搧水），再由汲卤的人脚手并用踩搬盐车转动，直到把卤筒提升出井口。若两人汲卤即交换往上提筒出井口；如一人汲卤时，则筒提起后用一只脚将卤筒蹬靠井壁，使其不往井下坠落，然后继续向上提，直至卤筒上端套进引杆的竹圈（或竹笼），将卤筒完全提出井口，然后用竹钩（今改为铁钩），顶开卤筒活塞，把卤水放出竹篓里，运入灶上煎盐[24]。

平车的功用是修井。卓筒井在修治过程中，平车可将放入及提升井下各种器具。“重者，则悬于架以人力操纵之；最重者，则悬于车以脚力梯而上、下之”[33]。1985 年 11 月，我们赴川北考察时，射洪东风盐厂的广盛井正发生了井下落筒事故，盐井工匠就用平车盘绕竹篾（俗称“火掌篾”）牵引搜子、搅镰等打捞工具，两人在车上“以脚力梯而上、下之”，同时三人或四人手攀车盘，与车两人配合协调，使车轮一仰、一俯转动着，带动井下打捞工具，疏通井内淤泥或捞取落筒。

## 四、悬吊钻具凿井的“火掌篾”
### ——代替“钢绳”钻井

宋初，由于生产力水平的限制，当时还没有具备研制出钢绳或钻杆的条件，为了钻凿卓筒井，我们勤劳智慧的先民，创造性地运用“火掌篾”，又名“井篾”①，悬吊钻井工具，不断向下岩层纵深开拓和延伸，井深达 300 米左右，至清代井深突破了 1 000 米。可见，以“火掌篾”代替钢绳悬吊钻杆用于钻凿盐井，则是我们先民的一项大发明（见图 4－4）。

① 川北地区称“火掌篾”，川南地区命名“井篾”。

火掌篾用楠竹制成①。其制作方法：第一，楠竹运到井场后，选择外观圆、伸直的竹干，再分锯成长短不一的用材，并打通竹节；第二，用于下井的“火掌篾”每根剖开成五至六条，有痕迹（俗称“花黄”）的竹条不用；第三，篾条（或竹的节段）均排在架子上，用谷草翻烤出竹汗（即竹出水），再用谷草覆盖十余天，让其逐渐干化；第四，放入卤池浸泡月余，除掉竹汗，防止蛀虫、抗腐；第五，将浸泡后合格的竹篾，两端砍成鸭舌形，中心钻孔，用麻纫联成钻心（俗称“占头”）。根据井深需要，竹篾匹匹相接，短者数百米，长者上千米，即可用于凿井。同时，严格检查井篾接头处有无松、退、断、损等现象，如发现有此一者，便及时加固或更换。

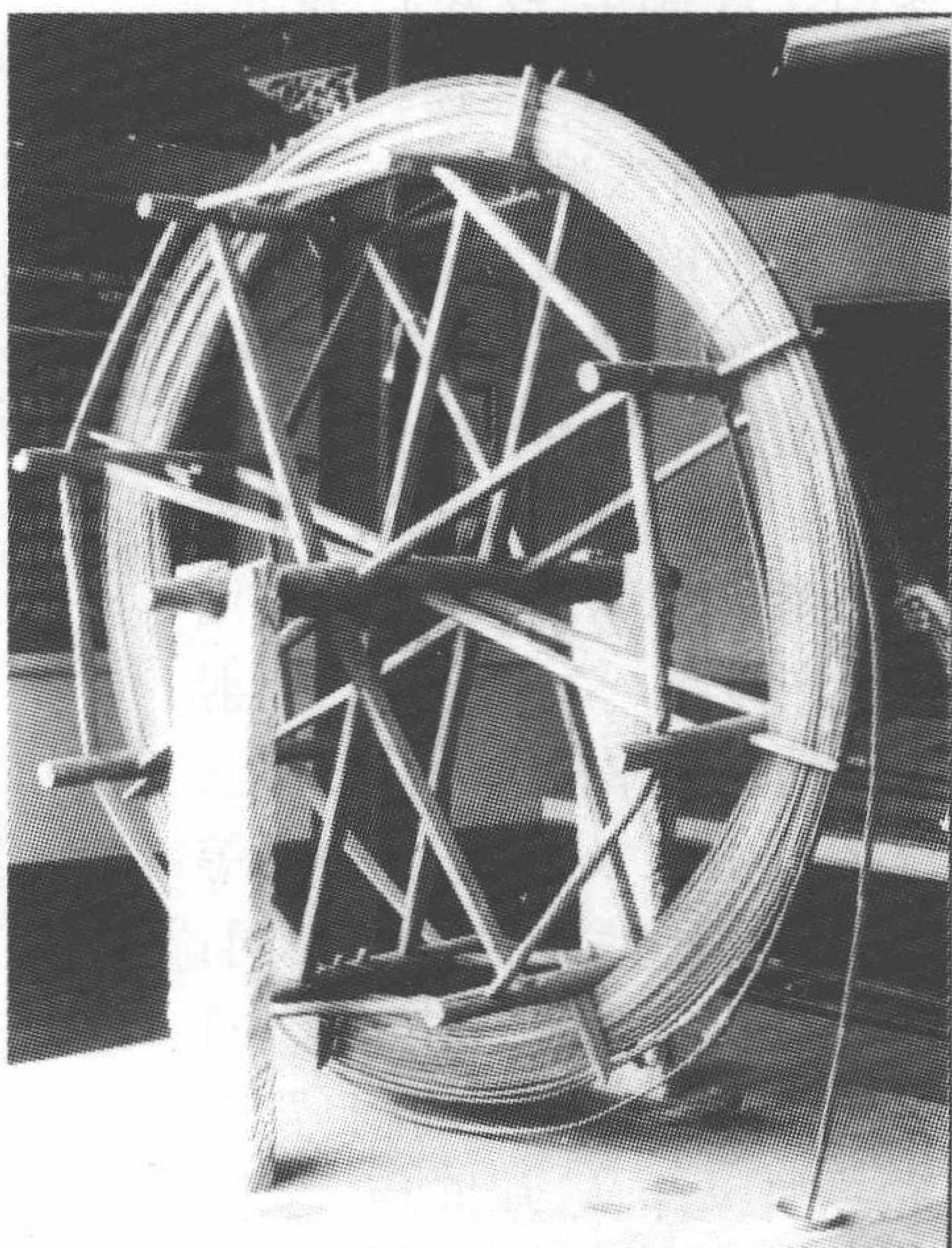


图 4－4　悬吊钻具的火掌篾
自贡盐业历史博物馆陈列厅文物

火掌篾的抗拉强度。楠竹的纤维长，富有韧性，因此有天然的抗拉强度。同时，竹篾经火烤烧和卤水浸泡后，具有防虫、防腐的性能，因此经久耐用，在古代以代替钢绳钻井，是理想的连接器具。自宋至清沿用800余年，川北有的盐厂沿袭至今，约1 000年的历史。

火掌篾的抗拉强度，最重要的取决于两个条件：一是楠竹材质合格；二是制作符合规范。若竹篾窄小，会降低抗拉强度，过宽容易破裂，适得其反。川北地区，卓筒井用的“火掌篾”，一般宽度3.0厘米，厚度0.5厘米，横截面积 $3\times0.5=1.5$ 平方厘米。楠竹的抗拉极限强度为1 561千克[34]，故火掌篾的抗拉强度为 $1.5\times1\,561=2\,341.5$ 千克。

川北地区踩架凿井动力为223千克，而火掌篾抗拉强度为2 341.5千克，为动力机械的10.5倍，因此大大超过保险系数。即是遇到井下故障，也能满足各种复杂情况的抗拉强度。

但川南地区，由于盐井口径大，井深，所以井篾抗拉强度比川北卓筒井火掌篾增大了3～4倍。井篾一般宽3.5厘米，厚度1.2厘米，横截面积4.2平方厘米。故井篾的抗拉强度为 $4.2\times1\,561=6\,556.2$ 千克。

① 据川北大英乡宋代卓筒井遗址证实：火掌篾的出现，应与宋代卓筒井发明属于同时期即北宋中期。明代马骥在《盐井图说》中有明确记载。火掌篾代替钢绳悬吊钻具钻井使用，从宋代至今，约千余年的历史。川北盐区称为“火掌篾”，川南盐区取名“井篾”，仅是称谓不同，其功能和制作方法一致。



## 五、泥筒的创制

泥筒又名搧泥筒，属于搧汲工具类。以楠竹或斑竹制成，全长3~5米左右①，圆径以井径大小而定。其诀窍是筒底部安置有单向牛皮活塞，“入水则开，出水则闭”，即筒入出水，皮活塞自动开闭，非常科学。苏轼在《蜀盐说》里述道：用比井径小的竹筒出入井中取水“一筒致水数斗”，其中包括“取水筒”和“泥筒”。两种筒用途虽异，但它们的制作和结构同一。

泥筒是钻井三大要素（凿井钻头、泥筒取岩屑及木竹套管隔水）之一。在钻井过程中，用于搧汲井底的泥沙，以确保继续钻井，直至完钻，起到了关键性的作用。

## 六、修治井工具的出现

修治井工具是钻井机械中的一个重要组成部分，同钻井工具的产生互为先后，可算是一个母亲的孪生子，也即是说它的创制、演进是随钻井工具而来的。论其功能奇异、独特，为解除井下各种故障，确保钻探井和生产井正常工作创造了条件，论其种类复杂繁多，更使人眼花缭乱，分治井、打捞、固井、淘井等各大类。修治井工具，宋代已开始出现，明代获得初步发展，清代臻于完备。

打捞和淘井技术并不是明代后期才出现的，这是因为打捞和淘井技术同凿井工艺、盐业生产是紧密相连的。“凡已未成之井均不能无病，有病必停工，谓之挂井”（李榕《自流井记》）。如在凿井过程中会发生“钎偶中折而坠其中”的事故[30]，就要打捞。同样，在盐井生产过程中也会出现火掌篾折断，出现落筒事故，也要打捞。若想新凿一眼井，一点事故都不发生，一般是不可能的。可以说，没有打捞和淘井工具的配套使用，凿井和井盐生产是根本无法进行的。

当新井建成投产到一定时期后，井内“被淤泥填溢大小窍”[30]。阻塞水脉，出现卤枯竭，重者废井。根据川北盐井生产的自然规律，“一年不淘就枯了、病了；两年不淘就废了；三年不淘就死了，永无复活的希望”[33]。因之必须淘井，才能延长盐井的使用寿命。由上可知，随着凿井工具和深井技术的发明，打捞和淘井工具及修井技术，无疑将应运而生。可见，这些工具和技术不是首次出现在明代，而是创造并产生在宋代，与“圜刃”锉和“卓筒井”发明在同一时期。虽然这方面史料记载太少，但是工具的客观发展规律，总是有蛛丝马迹可寻的。南宋淳熙四年（1177年），四川制置使胡元质的奏折中谈到了大井和小井（卓筒井）发生种种井病，给生产带来困境的情况，早已运用了打捞技术，处理“井（小井）筒削落”事故：“其间或有开凿既久，井老泉枯，旧额犹在，无由蠲减；或有大井损坏，无力修葺，数十年间，空抱重课；或（小井）井筒削落，土石埋塞，弥旬累月，计不得取；或夏冬涨潦，淡水入井，不可煎烧；或贫乏无力，柴茅不继，虚失泉利……如此之类，不可胜计。”[23]第一，事故种类，属于生产小井（卓筒井）发生的事故。但有两种情况：一是由断篾引起“井筒削落”事故以及因地层

① 据川北大英乡盐厂生产管理员相世元介绍，（宋代）卓筒井口径较小，井浅，用的泥筒短小，一般多用斑竹制作，长3米左右，直径6~8厘米。而川南自贡盐场，盐井口径大，井深，泥筒常用楠竹制成。又熊佐周等著《自贡盐场锉井治井技术》（1957年）云：泥筒“全长4.8米，直径12厘米”。可见，泥筒全长3~5米左右，但分川北、川南不同（此仅系筒的长短、大小不同，其制作原理和功能用途基本相同）。

垮塌发生“土石埋塞”事故，这两种事故可能各自独存；二是“井筒削落”和“土石埋塞”两种事故交织在一起，同时并存。两种情况以后者更复杂，打捞更困难。第二，事故原因，“土石埋藏”是岩崩，属于自然事故。第三，事故十分严重，属于重大井下事故，所以经过“弥旬累月”的打捞，而事故仍然“不得”解除。用什么工具入井取？胡元质没有直接讲。根据事故的性质推知，取带篾的竹筒是用搅镰。井内疏通泥物要用捜子、泥筒等工具。据此，可以认为明代的打捞、淘井工具应是宋代的继续和发展。

## 第三节　卓筒井新工艺的开创

卓筒井的开创，标志着旧式大口盐井的没落，新型盐井的诞生。自此，大口井向小口井的发展，浅井向深井的过渡，从而使井盐的钻采技术步入了一个新的时期。由于卓筒井的开创和推广，为当时“四川盐荒”的缓解起了重要作用。

### 一、卓筒井的概况

#### （一）“卓筒井”的命名

卓筒井，又名筒井、小井、卓筒、竹井、卓筒小井、竹筒小井等。文同在奏折中云：“凿地植竹，为之卓筒井。”[27]即为卓筒井的来历和命名。所谓“凿地植竹”，反映了卓筒井工艺的特点。“凿地”，即用先进的圆刃钻头，将地下岩石凿成圆井（俗称“大窍”）；植竹，即“以巨竹去节”，数根相连接，下入井中，构成井壁，隔绝地下浅层淡水。

因井内“植竹”，谓之“卓筒”。

为此，卓筒井之“卓”，应作“立”或“竖”解。于是，卓筒即“立筒”或“竖筒”；卓筒井可称之“立井”或“竖井”，并以此区别斜井或平井。又因卓筒井以巨竹下入井中作套管，隔绝地表淡水，所以，从井身结构上讲，命名竹筒井、竹筒小井；从钻井工艺上讲，又称“卓筒井”。

#### （二）卓筒井发明的时间、地点及人物

1．发明时间

据陵州知州文同说：“盖自庆历（1041—1048）以来，始因土人凿地植竹为之卓筒井。”[27]苏轼亦说：“自庆历、皇祐（1041—1054）以来，蜀始创筒井。”文同和苏轼的记载，稍有出入，但基本上相吻合。由此可知，卓筒井的发明时间，是在北宋“庆历、皇祐”年间，历时8～13年左右，才研制成功。

卓筒井的开创，是一个十分复杂的系统工程，从地面到井下，涉及各种机械的创制和诸多实用技术问题的解决，因而，从开始试制到正式用于钻井，非经过数年乃十载艰苦的研制，攻破道道技术难关，休想成功。

此外，关于卓筒井发明的时间，学术界也有不同意见。一种意见认为：发明时间早于“庆历、皇祐”年间。卓筒井是民间私人发明的，所以称之为“私井”。但由于宋政府禁私严厉，它的发明，不是公开的，而是在秘密状态下，进行试验直至创造发明。当其在民间普及推广后，“利之所在，无人不知”。文同于1071年至1072年，出任陵州知州时，呈奏朝廷，封闭卓筒井，于是才追叙了卓筒井的发



明及当时的发展情况。这时，相距卓筒井发明已 19 年了。苏轼在《蜀盐说》里，关于卓筒钻凿技术等记载颇详，但也是发明以后的追记。由此认为：卓筒井发明时间，应早于或至迟在北宋“庆历、皇祐（1041—1054）”年间。

另一种意见认为卓筒井的发明时间是在宋代以前。据北京理工大学（原北京工业大学）吴大昌先生说，1948 年至 1949 年他在美国学习期间，选修的《石油凿井工程》，大学本科教材上写道：“顿钻是中国发明的……地点是中国四川，时间在宋代以前。”而且他查到，美国石油学会 1961 年出版的《石油工业历史》承认中国最早发明和记载了“第一个冲击式钻井工具”。这与中国史载是完全一致的。“在这点上西方人是服气的，也是公平的……承认这是中国第一，四川第一，也是自贡第一。”（刘锦源《只缘身在此山中——“盐泉”引出了多么悠远的历史》，载《自贡日报》，1985 年 8 月 14 日）。至于发明时间在宋代以前，也不是没有根据的。但限于宋以前史籍太少，记载不一，难于考证。据现在所掌握的史籍，就以北宋大文豪苏东坡《蜀盐说》和陵州知州文同《奏为乞差京朝官知井研县事》的记载，有关深井钻头即圆刃锉和卓筒井的发明是可信的，而且也是世界最早的。

2. 发明地点

关于卓筒井的发明地点，史料记载太少、太简略，但经查史（籍）、实地调研后，认为其发祥地（址）仍有可寻的踪迹。文同在《丹渊集》卷三四中作了简明的记述：“伏见管内井研县……（为）地势深险，最号僻陋，在昔至为山中，……为之（创办）卓筒井。”由此可知：即在陵州下辖的井研县境内深山中，是为卓筒井的发明地点。

当时，为何井匠技师要选择在陵州下辖的井研县内深山老林中开办卓筒井呢？作者曾于 1997 年专赴川北盐史调查时，与县志编纂人员、井矿技术人员等商讨过这个问题，归纳起来，要点有三：其一，卓筒井户“去州治（陵州）百里”[27]之外——即在井研县无人烟的原始丛林中，并经长期的、艰辛的创办，还要躲避宋政府严禁民间私开盐井①的监控；其二，井研盐区（包括山区）地下浅层卤源丰富，“傍山多盐井”[28]，从而，为创办卓筒井奠定了丰厚的物质基础；其三，山区林木富饶，就地取柴薪煮盐十分便利。

3. 发明人

据《丹渊集》载录：“土人”开创了卓筒井[27]。又有“山谷之民，相地凿井”[35]之说。这表明，卓筒井由“土人”或山区的人发明。所谓“土人”，系指土著：即四川井研县本地人或当地人。顾炎武《天下郡国利病书》卷六六云：“雅州南十五里，多白石盐，土人钻取之，名曰‘盐岩’。”

实际上，卓筒井并非一个人发明。卓筒井的开创，包括卓筒机械及钻凿工艺。涉及多种技术，需要各种专门人才，能工巧匠，如钻凿盐井的井匠，铸造钻头的铁匠，制作人力机械的木匠，砌石圈的石匠等。但各种工匠，是以钻井工匠为核心的，因此，井匠在技术上又是领头人。可见，卓筒井并非一个人发明，是先民

① 陵州知州文同在《丹渊集》卷三四（奏折）中宣称：“绝不许容开造……卓筒井。”以此表明宋政府严禁私开盐井。





们通力合作，集体智慧创造的伟大科技成果。

**二、卓筒井的井身结构**

卓筒井的井身结构，与现代深井的井身结构基本相同，为现代石油井奠定了雏形，突出反映了其工艺特点。

卓筒井的井深。苏轼记载“深者数十丈”[22]。但根据川北各地的地质条件不同，所以，盐井有深有浅。如现存蓬溪县大英乡卓筒井井深 70 ~ 140 米，一般 110 ~ 120 米①。

根据卓筒的井深，其井身结构主要分三大段：第一段，挖大口。当井位选定后，先挖去地表浮土层，然后用石圈砌成圆井，以防浮土垮塌。一般大口圆井深 3 ~ 5 米；第二段，下木竹套管。即凿大窍后，接着下一层竹管，以隔绝地表淡水。苏轼做了明确的记述：“以巨竹去节，牝牡相衔为井（即公母扣连接），以隔横入淡水，则咸泉自上”[22]。川北大英乡卓筒井的竹套管，选用直径 10 ~ 13 厘米的巨竹，打通竹节，外圆用篾条捆扎，首尾公母扣相接，下入井深 18 ~ 45 米，以防止地层垮坍及隔绝淡水，则利于采汲井里咸卤。大英乡卓筒井用的竹套管，与苏轼的记载是一致的。关于卓筒井竹套管下入井的方法，清代《蓬溪县志》卷一五有详细、生动的记载：

凿井至“深二三丈，先得淡水，名阳水。阳水之下，试有坚石，凿之亦碗大。用大竹四五竿凿通（竹节），接之使长。接处缠麻，胶以油灰，隔住阳水，名隔竿（套管），端入井中，垂至所凿坚石穴内，四围胶以油灰，隔住阳水，使（阳水）不得下渗。再用大石板凿井口，扣定隔竹，以竹枝系铁锥入隔中凿之。”第三段，为小窍，即裸眼井段，直径 5 ~ 8 厘米，多属硬岩含卤层，一般不易崩垮。

**三、卓筒井采卤**

由于钻井技术的发明，则卓筒井采卤应运而生。其采卤方式为提捞生产，“竹筒设机抽泉”[23]。苏轼记述较详：“以竹之差小者，出入井中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入水中，气自呼而启闭之。”[22]根据考察，川北地区现存卓筒井遗址的采卤工艺：以人力作动力，花车（绞车）升降，火掌篾（又名“井篾”）牵引，竹筒（即汲筒）采卤，即工艺流程为：人力踩动→花车提升→火掌篾悬吊→竹筒采汲。如双眼井汲筒长约 7 米，直径 5 ~ 6 厘米，由四节竹筒相连接而成。筒底置有单向阀门。这种采卤技术，与苏轼记载的宋代卓筒井生产方式基本一致。卓筒井采卤，我国在 11 世纪中叶发明，当时设置机械采汲，是一种先进工艺，具有工效高、成本低等特点。而且其科学原理，在四川井盐生产中，一直沿用至今。

川北卓筒井采的卤水，属于地下浅层淡卤，一般埋藏量有限。同时卓筒井口径小，汲筒亦短小，因此，采卤产量不高。苏轼说：“一筒致水数斗。”[22]但根据卓筒井产卤的盈缩和丰贫，卤咸的高低，可分为广水井和咸水井两种。广水井以卤丰咸低（两种井相对而言）为其特点。如大英乡广水井常钻采在地势低洼处，“日产卤水 3 000 ~ 4 000 市斤”②（折计 1.5 ~ 2 立方米卤水），卤水咸量在 100 克/升以下。咸水

① 由川北大英乡卓筒井盐厂生产管理员杨世元提供。

② 由川北大英乡卓筒井盐厂生产管理员杨世元提供。



井（又名歇水井）与广水井相反，又以卤贫咸重为其特点。咸水井位置多居半坡上，卤水咸量在100克/升以上，日产卤量较低[36]。由于卓筒井产卤量低，因此"须数十、百井始供一灶"[33]煎盐。

虽然卓筒井卤量低，但采卤时，一井需用劳力1~2人，因此，比起大口盐井用数十人牵大绳汲卤，劳动率更高。并且当时的盐价高，用井卤煎盐，仍获厚利。

**四、卓筒井新工艺的优越性**

圆刃铿开凿的卓筒井与用锄等工具挖掘大口井对比，主要有以下优点：

（一）用新型的"圆刃"铿取代了原始工具锹、锄等

大口井的掘进工具如锹、锄等是普通的农业铁制工具，人手持这些工具要在井下挖掘，井的加深与人的挖掘同步进行，因此劳动负荷极重，"役作甚苦"[37]，同时工效非常低。圆刃是一种新型工具，用机械凿井，"凡筒井皆用机械"[22]，井匠在地面操作机械。圆刃不断向地层深部钻进，使井身得以逐渐加深，直达目的层位，可大大提高钻井速度，把人从十分笨重的井下苦役中解脱出来。

（二）用小口井取代了大口井

所谓大口盐井，其实是一种竖井，它的特点是口径大："纵广五尺"[38]至"三十丈"[37]，尤其是大型盐井，开凿一井，挖、提、运土石工程浩大，其土石可堆砌成一座小山。卓筒井口径小，"如碗大"，约3~6寸。据《天工开物》卷五记载："凡蜀中石山，去河不远者，多可造井取盐，盐井周围不过数寸，其上口一小盂覆之……大抵深者半载，浅者月余，乃得一井就成。"即卓筒小井开凿时间，大约深井开凿半年，浅井一月余，便可一井就成。因此，工效高，费用低，劳动负荷轻。用小口井径取代大口井径，是我国盐井钻凿工艺的一大飞跃。

（三）用竹筒隔水取代了梗楠木障井壁

在凿井过程中，无论是大口盐井的挖掘，或是卓筒的开凿，都要遇到地下的淡水渗入和岩层的垮塌。大口盐井是用硬木或土石保护井壁，如陵井"石之上凡二十余丈，以梗楠木四面锁叠，用障其土"[39]。由于口径大，岩石裸露面也大，所以岩层坍塌比卓筒井更为严重，支护、排水及取土石工序浩繁。卓筒井在11世纪中叶问世后，以巨竹去节，"牝牡相衔"（即公母榫相接）作为导管下入井内，用于隔离淡水和保护井壁，以利于凿井的安全和开采卤水。用竹筒作套管比梗楠木障土工程简单、方便、安全、有效。

（四）用竹筒置皮活塞汲卤取代了大皮囊盛卤

大口盐井采卤方式落后，以大皮囊盛水引出之，劳动条件恶劣。南宋四川制置使胡元质记叙其推卤情况时说："以牛革为囊，数十人牵大绳，汲取之。"[23]取卤笨重，劳工极苦。而卓筒井则用先进的竹筒作容器，筒底置熟牛皮阀门汲卤，代替了大皮囊盛卤，改善了劳动条件，大大减轻了劳动强度。

（五）小井优质盐取代了大井劣质盐

由于卓筒井用了先进的机械钻采和较好的煎制方式，因此生产的食盐质量高，盐粒洁白味正。王象之《舆地纪胜·荣州景物注》云："唯应灵之盐纯白，而盐贾最众。"同时售价低，"民间小井白盐价（斤）止七八十文。"[5]而大井盐质劣，"官盐"多沙泥，卖价昂贵"斤为钱百二十文"[5]。由于小井盐质比大井甚优，价




格便宜，所以出现了商人和民众争相购买小井白盐，造成了大井劣盐、价高滞销“积不售”的局面。

（六）卓筒井获利丰厚

北宋初四川的盐井，都是大口井。庆历、皇祐年间（1041—1054 年），井研盐场巧匠发明了圆刃锉和开创了卓筒井新型工艺。

由于这种工艺先进，凿井和生产成本低廉，因而，给人们带来了丰厚的利益：“利之所在，人无不知。”[22]“广专山泽之利，以供侈靡之费。”[27]王象之《舆地纪胜》（卷一六七）云：“土瘠事力耕，家无终岁蓄。所资盐井利，持易他州粟。”即是说，瘠贫的土地，不足供给家庭生活的需要，而盐井的收益，可以补助他们的衣食缺少。南宋大诗人陆游在荣州（今四川荣县）看到井灶户顾了盐业，却误了农时，诗人曾写道：“秋冬收薪茅最急”，以至“煮井人忙下麦迟”[40]。古代，四川井研地瘠民穷，农产不丰，只有盐卤是当地所能唯一发掘的地下宝藏。这项巨大的财富，人们把它看作是“银水”。地下“银水”的开采，为成千上万的盐工和数以万计的无地和少地的贫民多开了一条谋生之道①。千百年来，为人民创造了巨大的财源。

**五、卓筒井的推广对四川盐荒的缓解**

由于用圆刃锉开凿卓筒井获利丰厚，因而调动了人们开凿小井的积极性，为此，卓筒井新工艺便得到迅速推广。文同在《丹渊集》卷三四《奏为乞差京朝官知井研县事》中谈道：“卓筒井，以取咸泉，煮炼盐色。后来其民尽能此法，为者甚众……访闻豪者一家有一二十井，其次亦不减七八。……每一家须役工匠四五十人至二三十人者。”到南宋时，卓筒井遍布四川各地区，成为四川开辟地下卤源的新兴工艺。马端临《文献通考》（卷一六）说：“蜀盐有隆州之仙井，邛州之蒲江，荣州之公井，大宁、富顺之盐井，西河州之盐井，长宁之育井，皆大井也；若荣、隆等十七州，则卓筒小井而已。”李心传《建炎以来朝野杂记》（乙集·卷一一）述到“眉、彭、丹陵、嘉之洪雅等县，皆有石脚井筒”。卓筒井迅速由川北、川南地区扩展到川东等边远地区，如“忠、万、戎、泸间夷界，小井尤多”[41]。卓筒井自北宋初开创至南宋绍兴年间，迅速发展到了高峰。据有关史料统计，至北宋仁宗时，四川益、梓、利、夔四路共有盐井 728 眼，岁产盐 1 616 万斤（9 500 余吨）。到南宋绍兴年间，四路共有盐井 4 900 余眼，岁产盐约 6 000 万斤[42]（35 800 余吨），又《建炎以来系年要录》又计 6 400 万斤（38 000 余吨）。南宋绍兴年间比北宋初井数增长近七倍，盐产增长约四倍，井数和盐产以数倍的增长使四川长期奇缺食盐的状况得到了缓解。

李世平在《四川人口史》中说：“嘉定十六年（1223 年）的户口统计数字比绍兴三十二年（1162 年）的统计数更为合理。当年四川境内人口总数，虽然照修正后的数字 6 141 243 人，也是历史上第一次突破了 $600 \times 10^4$ 人的大关。这个新的突破是可信的。”[43]又据《建炎以来朝野杂记》甲集卷一七“四川元丰绍兴淳熙户口数”记载：南宋绍兴三十二年（1162 年）四川“户二百六十四万余，口七百五

① 作者在井研卓筒井发祥地收集。



十一万余”。南宋四川人口总数，因不同史料的记载出入很大，即使同史籍记述的户与口数仍是相矛盾的。但史料记载，以 $600\times10^4\sim750\times10^4$ 人比较接近于当时的实际情况。据此计算，平均每人每年得盐约8～10斤，则食盐供给已是基本满足了，再退一步讲，即使南宋人口总数按1 000万计，每人每年平均用盐量约六斤，比起仁宗时，每人每年平均仅有盐一斤多（不包括外运盐）的紧缺状况，确是得到很大的缓解。

但是这里还需说明一点：由于卓筒井的飞跃发展，“小井白盐”质优价廉，深受人民喜爱，因此私盐十分畅销，冲击了市场，打破了官盐的垄断地位，侵犯了官家的利益，因而统治者就采取限制、封闭卓筒井的措施，于是卓筒井屡闭屡启，食盐供需矛盾出现时缓时烈的状况。

## 第四节 卓筒井的生存、发展及与官井的斗争——官府封闭卓筒井与卓筒井户反封闭的斗争

我国11世纪中叶，在四川井盐生产中，出现了一种新型盐井——“卓筒井”（即称“私井”）。它的问世，具有钻采工艺先进、劳动生产率高、食盐质优价廉等优点，便与当时掘采工艺落后、工效低下、盐质低劣、盐价昂贵的大井（又名“官井”），发生了激烈的竞争和尖锐的矛盾。在这种形势下，北宋官府不是支持和发展卓筒井，却反而采取封闭卓筒井的行动。其目的是保护大井的生产和利益，亦即是维护官府自己的既得利益。于是引起一场轩然大波，发生了卓筒井与官井的斗争，即官府封闭卓筒井与卓筒井户反封闭的斗争。这场斗争，“从北宋到南宋，从地方到朝廷，围绕这种筒井的争辩，屡息屡起”[44]。但最终以官井的彻底失败，筒井取得巨大胜利而告结——即官井向私井转化——私井取代了官井的地位[45]。卓筒私井的发展，食盐的增加，缓解了当时的盐荒，促进了社会生产力的进步和发展。虽然，宋代筒井与大井的斗争，即私井与官井的斗争，已经过去900多年了，但在中国井盐史上，乃中国科技史上是一件奇事，值得我们很好地研究和总结。

### 一、封闭卓筒井的起因

大井（官井）的没落，筒井（私井）的兴起，代表了两种不同的前途和命运。正如古人所云：“沉舟侧畔千帆过，病树前头万木春。”①

宋代制盐生产资料的所有制形式，种类繁多，颇为复杂，不可一概而论，一般地说，大致划分为三种形式，即国家官有制、盐民所有制及官民结合所有制[46]。因此，井盐制盐生产资料的所有制形式也不例外。宋代国家所有制的官井称为“大井”。川省“两蜀产盐之地置场，其井尽权于官”，“陵井监之井研，荣州之应灵，专置场各差监官，其余州县盐井少处，就差税务官兼职税务处，委令佐置

① （唐）刘禹锡作《酬乐天扬州初逢席上见赠》吟：“巴山楚水凄凉地，二十三年弃置身。怀旧空吟闻笛赋，到乡翻似烂柯人。沉舟侧畔千帆过，病树前头万木春。今日听君歌一曲，暂凭杯酒长精神。”见《刘禹锡集》（第290页），上海人民出版社，1975年。





场。”[47]当时，四川分四路，各路下置监。据《文献通考》（卷一五）及《宋史·食货志下五》记载，蜀省先后在四路中设有十监，即益州路（成都府路）二监：陵井监和蒲江监；梓州路（潼川路）五监：富顺监、公井监、淯井监、南井监及富国监；夔州路三监：永安监、云安监和大宁监；利州路未设。同时，监之辖井，设场务专管。如，富顺监14井，公井监57井，并根据各监辖井的多寡和产量的丰贫，规定“日额”、“岁额”，如数向官府缴纳。以盐特殊商品的价值，成为他们聚敛财富主要的来源。

大井挖掘浩繁，采卤方式陈旧，劳动生产力低。同时老井水枯，产卤锐减，因此，食盐产量大幅度下降，由宋初岁产盐1 600余万斤，到仁宗时期。年产盐不足八百万斤，减产了二分之一强。灶上制盐，“熏煎极苦”[48]，盐质低劣，价高难售。筒井技术先进，钻凿用“圆刃”，取卤用汲筒，因而，产卤量高，盐色白味正，成本大大低于“官井”（大井），市场竞争力强。“官盐”砂多杂质重，每斤价为百二十文，而小井盐白质优、价廉，一斤仅为七八十文，于是，深受广大民众的欢迎，并被争先恐后购买。“白盐”供不应求，官盐滞销，“邛（崃）井盐（官盐）岁入二百五十缗，为丹棱卓筒（盐）所侵不售”[49]。“白盐”的畅销，给卓筒井户带来了丰厚的盐利。

由于小井盐质优价廉，产销两旺，因此，民间筒井获得迅猛发展，如雨后春笋。而官盐质劣价昂，堆积“不售”，于是，官办大井逐渐走向没落，似如夕阳西下。这时，官府不是改进大井陈旧落后的技术，提高盐质，降低盐价，投放市场，满足民众的需要；反怒小井盐的“侵挤”，损害了大井的利益。为此，官府视民间筒井如洪水猛兽，害怕得要死，亦恨得要命，同时处心积虑，千方百计打击和扼杀筒井，乃采取行政干预——封闭筒井。卓筒井户为了生存和发展，必须展开与官井的斗争，即导致了一场官府封筒井和卓筒井户反封闭的斗争。

## 二、宋政府保护官井封闭卓筒井的举措

筒井的兴起，立即显示出其强大的生命力，形成了与官井的激烈争斗。在市场上，“小井白盐”畅销，占据了主导地位，“大井黑盐”滞售，处于被动的地位。于是官井盐每况愈下，在政治上和经济上遭到了沉重的打击。

兹因四川财赋缺少，所以支持官盐销售。官府为其目的，仍因循守旧，抱残守缺，企图采用行政干预的举措，保障和促进官盐的销售，维护大井的生产和利益，同时亦为了打击、扼杀筒井。这些举措有食盐的“抑配”、禁止私盐、封闭卓筒井。

### （一）食盐的“抑配”制度

由于“官盐”价贵质劣，民众不愿购买，官府则实行强制“抑配”，强迫人民食用“官盐”。“官盐多恶杂（质）不可食，往往抑售于民，州郡第利其盈而已，无能正之者。”[42]官盐以逐户按口“抑配，深为民害”[50]。北宋熙宁中，在京东、河北等地区，民众亦不愿买高价官盐，官府便按户逐日定量“抑配”，当日食不尽留经宿者，同私盐法治罪[51]。朝廷三令五申“不得抑配”[52]，但地方官吏阳奉阴违，‘依然我行我素，不执行其令。官府推行的“抑配”促销制度，自然是想继续保持和巩固“官盐”在流通领域中的垄断地位，获取巨大的利益，并以此打击和



排斥民众欢迎的“小井白盐”。这种“抑配”制度，残害人民，危害极大，引起人民强烈的不满和反抗。

(二) 严禁“私盐”

宋代“私盐”，种类繁多，① 其中筒井即为“私井”，汲卤煎盐，自然被列为禁止的“私盐”。私盐的生产和销售，打破了宋政府对盐业的垄断和控制，严重影响了官盐的销售。同时当政者认为“年来课入不增，商贾不能行”，仍归咎为“皆私贩害之也”[5]。所以，官府严厉禁私和缉私，并对私盐及私盐贩“严密查拿，重惩不贷”，“私盐不清，正盐不行”[53]。

建隆二年（961 年），盐法规定：“官盐阑入禁地贸易十斤，煮卤咸至三斤者乃坐死；民所受蚕盐以入城市，三十斤以上者奏裁。”[54]

建隆三年（962 年），盐令规定：“官盐阑入至三十斤，煮至十斤坐死，蚕盐入城市，百斤以上奏裁。”[54]

据《续资治通鉴长编》（卷二一）载道，宋太宗诏：“西川诸州民，比者但犯盐禁，皆部送京师。自今不满十斤，委所州府依法区分。”

庆历三年（1043 年），北宋著名政治家、文学家范仲淹（989—1052），为了广开财源，充实国库，建议“人用钱赎罪，可是，私盐犯不能赎”[55]。

南宋绍兴二年（1132 年），盐令规定：“贩私盐、茶（犯），虽遇非次赦恩，特不原免。”[56] 由上可知，宋代盐法之严，非同一般。

宋代禁私之法，苛峻严酷。但私盐愈演愈烈，积重难返，民间食用私盐，已渐成风习。许肇鼎《宋代四川井盐概述》（载《井盐史通讯》1981 年第 8 期）中云：“私煎、私运之所以产生，主要还是由于宋王朝政治腐败，官吏贪污所致。加以民食需要和商人牟利，始终是禁者自禁，犯者自犯，无法禁绝。”正如南宋著名史学家李焘②（1115—1184），在《续资治通鉴》（卷一三九）中一针见血地指出，乾道年间禁私不绝的主要原因有三：“亭产煎盐入官，官不以时给直，往往寄居，为之干请而后予之，至有分其大半者，一也；煎炼之初，必须假贷于人，而监司类多，乘时放债，以要其倍偿之息，及就场给直，往往已先扣除其半，而钱入于亭之手者无几，二也；盐司及诸场人吏，类多积私盐以规厚利，亭户非不畏法，以有猾胥为之表里，互相蒙庇，三也。”这些弊端并非一时一地出现，在宋代四川地区普遍、长期存在着。

(三) 封闭卓筒井

官盐销路不畅，宋政府采用行政干预的举措，为官盐鸣锣开道，以打通销路，其结果与他们的愿望相反。“抑配”制度，引起民众强烈的反抗。禁止私盐，由于

---

① 私盐种类繁多。由于盐产于场而销于岸，以转输者则依于运。而运则有水陆之分，有人马之别等，随处皆可贩私。于是有场私、商私、船私、官私、军私、肩私、担私、帮私等各类。归纳为三大类别：“井灶之未经官厅许可者，谓之私煎；运盐之未纳税者，谓之私贩；大宗私贩持械拒捕者，谓之私枭。古来之私，只如此耳。”（《四川盐政史》卷九）

② 李焘（1115—1184），南宋著名史学家。字仁甫，号巽岩，四川丹棱人，绍兴进士。步入仕途初期，在四川任地方官多年。孝宗乾道三年（1167 年）任兵部员外郎。以后历任内外官职，主持修史工作。历时耕耘四十年，撰成《续资治通鉴长编》并保存了北宋史料。对今研究北宋史实有较大参考价值。（《宋史》卷三八八立传）

官吏的腐败，商贾的牟利，始终“蜀盐私贩者众，禁不能止。”但官府认为：卓筒“凿井既众，出盐滋多”，则是威胁和阻碍官盐“堆积不售”的大“祸根”。为此，他们对卓筒井十分仇视，恨之入骨，便孤注一掷，破釜沉舟，心狠手毒，以“斩草除根”——封闭卓筒井，以便官盐继续一统天下。

嘉祐年间（1056—1063年），卓筒井刚诞生不久，在民间正蓬勃地发展，却突然遭到成都府路转运司奏请，禁止开凿新井。据吕陶①《净德集·奉使回奏十事状》云：“始嘉祐中，转运司奏请，今后更不许卓筒（开凿），非为其滥也，止以凿井既众，出盐滋多，射破蒲江官井盐价，然已开凿者亦存而不废。”不过，这次查封行动，稍有宽弛。仅禁开新进，已存者不废。

陵州（今四川仁寿县）知州文同积极主张封闭卓筒井。文同又名文与可（1018—1079年），是北宋著名的诗人兼书画家。在政治上，忠实于和不遗余力地维护封建统治。1071年至1072年间，他出任陵州知州时，积极奏请主张封闭卓筒井，充当了宋政府在四川封闭卓筒井的马前卒和急先锋。他在《丹渊集》卷三四《奏为乞差京朝官知井研县事》中，呈报了卓筒井在井研地区发展的情况及对官井盐带来极大的危害性，他惊呼卓筒工艺一问世就不胫而走，“卓筒井以取咸泉，鬻炼盐色，后来其民，尽能此法，为者甚众”。并向朝廷献策建议，在京城朝官中，举派“清疆明断，有吏干之人为知县”，坐镇井研与他共谋，以便扼杀“止绝”卓筒井。文同又在同一奏折中叙道：“向时朝廷尝亦知其（指“卓筒井”）如此创置无已，深虑寖久事有不便，遂下本路转运司止绝，不许容开造（卓筒井）。今本县界内，已仅及百家。”经此次大规模封井止绝行动，各地新兴的卓筒井，受到了沉重的打击，同时，给卓筒井户造成了灾难性的损害。卓筒井的发展，暂时处于低潮阶段。

熙宁九年（1077年），盐运判官奏请，一律“尽行闭塞”。成都府路及梓州路卓筒井：“至熙宁九年，盐运判官段介又奏请闭塞本路及梓州路卓筒井。一为欲蒲江官卖贵盐；二为欲兴贩大宁监（盐）、解盐入川高价出卖，多取羡息，苟求恩赏。是时，梓州路转运司以为年计所赖，固执不可，唯成都路尽行闭塞，煎井之家，由是失业。”[57]本次“闭塞”卓筒井的目的很明显：一是为蒲江官卖贵盐；二是为“贩大宁盐、解盐入川高价出卖”，为官府牟取暴利。但是，梓州路转运司以“年计所赖，固执不可”，未执行盐运判官的旨意，唯成都府路卓筒井不折不扣一律“尽行闭塞”，结果造成“煎井之家”，失业者众。

南宋时，筒井获得迅猛发展。绍兴间，川省四路盐井，由北宋初700多眼猛增至4 900多眼，提高近七倍。产量由1 600多万斤增加到6 000多万斤，提高近四倍。井数和盐产量均创历史最高纪录。但到绍熙中，四川总计（总领四川财课）杨辅，顿治盐法：“遣官覈去虚额，栈闭助（卓）筒二千有奇。申严合同场旧法，禁斤重之逾格者，而重私贩之罚，盐值于是顿昂。”[42]杨辅一举封闭全川筒井达“二千有奇”，占南宋最多井数的40%强。封闭结果，造成盐价暴涨，加重的负担还是落在人民头上。

---

① 吕陶：字元均，四川成都人，皇祐元年（1049）进士。（《宋史》卷三四六立传）



虽然卓筒井遭到了官府多次填闭，但是仍在填闭中得到了保存和发展。官井盐却在保护中渐渐衰落，奄奄一息。

**三、反对封闭卓筒井的斗争及胜利**

官府处心积虑想要“封闭止绝”，一律“尽行闭塞”筒井，但它始终止而不绝，闭而不尽。筒井的生存与发展，不依官府臆想为转移。由于筒井工艺先进和其优越性，已经在人民中间生了根。因此，具有顽强的生命力：“野火烧不尽，春风吹又生”①。

宋政府封禁严厉，但卓筒井户利用四川有利的地理环境，以山区为基地，隐藏开凿，保存及发展了筒井。由于筒井的优越性，因而得到了朝野内外有识之士极大的支持。同时面对官井的衰落，食盐紧缺，盐荒严重，卓筒井有举足轻重的作用，官府不得不承认其合法地位。于是，筒井（私井）发展蒸蒸日上，官井一落千丈。宋政府实行招商“扑买”官井的开放政策，由官井向私井转化，终于导致了井盐业所有制的重大变革。

（一）在深山隐蔽钻凿和发展卓筒井

筒井的开创，对官井是一种严重的挑战，而且筒井发展越快，盐产量越多，越是对官井盐的严重威胁。因而，筒井被视为不合法或半合法的产物，在很长时期得不到承认和应有的合法地位，屡遭封闭，造成卓筒井户巨大的经济损失。于是，民间盐商调整筒井发展策略，转移目标和发展方向，由公开（或半公开）转入秘密（或半秘密），在深山隐蔽钻凿和发展卓筒井，反对官府的控制和封闭。

四川盆地四周环山，东有奇险的巫山扼碍守，南有逶迤的大娄山为屏障，西有连绵的邛崃山、大凉山当拱卫，北有雄峻的大巴山作门户。加上盆地内遍及大江小河、山野深谷、山道路险、僻壤边陲等特殊的地理环境，为保存和发展卓筒井提供了良好的空间和庇护所。故此，正如文同在《丹渊集》卷三四《奏为乞差京朝官知井研县事》中所云：“地势深险，最号僻陋。”“所谓‘卓筒井’者，以其临时易为藏掩，官司悉不能知其实际数目。”明宋应星《天工开物·作咸》亦说：“凡川滇盐井……掩盖至易，不可穷诘。”即是四川、云南盐井，容易逃避官府的查究。于是，在深山“崎岖深谷之中”，卓筒井“连溪接谷”迅速发展起来，“嘉州并梓州路荣州疆境甚密，彼处亦皆有似此卓筒盐井者颇多，相去尽不三二十里，连溪接谷，灶居鳞次，又不知与彼二州者工匠移人合为几千、万人矣。”[27]文同记叙的至少给人以三点启示：其一，当时卓筒井处于非合法或半合法的状况下，民间井户避开官府，在深山钻凿和发展卓筒井，待有机会或条件成熟时，再向山外拓展，其决策和做法都是正确的，反映了他们最大的勇气和非凡的才能；其二，以四川特殊的地理环境，即上山、进山、靠山，“临时易为藏掩”，开凿筒井，“官司悉不能知其的实际数目”，因此，不仅盐井“止不绝”，反而获得了迅猛的发展，即保存和发展了筒井；其三，深山钻井，避免了官府封井的重大损失，同时还可减少一些赋税，谓之“两全其美”。

① 白居易作《赋得古原草送别》诗云：“离离原上草，一岁一枯荣。野火烧不尽，春风吹又生。”见顾学颉《白居易集·校点》第一册（第262页），中华书局，1979年。





顺便提及，开凿盐井，“大利所在”，利趋而行。所以，有的井户不惧官府的严厉封禁他们的盐井，即在甲地盐井被禁封后，又到乙地去合伙集结开凿私井甚至“境上小民，冒重刑”私开卓筒井。同时私盐泛滥，“往往千百成群”，结伙组织“武装贩运私盐”[58]，公开与官府抗争。

（二）王安石改革的助手——沈括反对封闭卓筒井

筒井的发明，是一种新生的事物，它一出现，便引起了朝野内外，举国上下的纷争，保守落后，抱残守缺者，反对！远见卓识，有识之士，支持！当时朝廷中王安石改革的得力助手，北宋著名科学家沈括，就属于后者的代表。他积极支持筒井的开凿和生产，反对查封筒井。

熙宁七年（1074 年）八月，宋政府准备“尽填”西川已兴起的筒井：“西蜀井盐不可禁，欲尽填私井，而运解盐以足之。”[59]在朝廷禁私闭井意见尚未统一的情况下，宋神宗又和沈括讨论，征求他的意见，沈括直言不讳，对曰：“私井既容其扑买，则不得无私易。一切填之而运解盐，使一出于官售，此亦省刑罚，笼遗利之一端；然忠、万、戎（今四川宜宾）、泸间夷界，小井尤多，不知敌盐又如何止绝？如此后夷界更须列候加警，则恐所得不补所费。愿敕计臣边吏，深较其得失之多寡，然后为之。”[59]由于沈括认为四川一些边远山区，“小井尤多”，加之设“边吏”“加警”、补贴费等诸多问题，禁止小井实难，反对“尽填私井”，因此，这次封井行动方才罢休①。

（三）宋政府承认卓筒井合法的地位——卓筒井户斗争获初胜

由于筒井工艺比官井先进，并经过卓筒井户长期、艰苦、不屈不挠的斗争，乃迫使官府不得不承认其合法地位。筒井从否认到承认，历经了漫长而坎坷的历程，胜利来之不易！

元祐四年（1089 年），北宋政府，根据吕陶正确的建议，下诏：“成都府路现管盐井一百六十余井，立为定额，不问大井及卓筒，并不禁止。若遇咸泉枯竭，许于原井侧开卓（筒井）取水，以补原额井数，依条差官権定，认纳课利。其枯竭原井，即行栈闭，仍不得于他处及额补增添开卓”。[60]政令主要说明两点：

第一，“不问大井及卓筒，并不禁止”。这一规定，实际上等于承认了筒井（私井）的合法地位。政策的开放，无疑对于调动卓筒井户的积极性，以推动和促进井盐的生产和发展，缓解当时的盐荒，起到了重要的作用。

第二，合理规定盐井的停开及增减办法。因地下卤水是有限的，盐井经长期的开采，井卤自然递减，至此“枯竭”。为此，必须增开新井，替补“枯竭原井”，“允许于原井侧开卓取水，以补原额井数”的办法。增开的“卓筒”，经“差官権定”后，“认纳课利”。这一规定是公平合理的，实事求是的，对公私双方都有利。

（四）私井取代官井——官井向私井的转化

在宋代，官井（即大井）属于国家官有，政府专派官吏经营和管理，“如数输

---

① 沈括反对封闭卓筒井，从另一史料中得以佐证，宋神宗“问蜀盐事，”沈括对曰：“一切实私井而运解盐，使一出于官售，诚善。然忠（今四川忠县）、万（今四川万县）、戎（今四川宜宾）、泸（今四川泸州）间夷界小井尤多，不可猝绝也，势须利候加警，臣恐得不足偿费”（见淮沛等译注《宋史选译·沈括传》，巴蜀书社，1988 年）。



课”，成为国库财政的重要来源。为此，国家在政策上给以优惠——扶持及保护。但由于官井技术十分落后，所以，无可挽回其日益衰败，走向没落——被新型的卓筒工艺即私井所取代——官井向私井的转化，终于导致了四川井盐业所有制的大变革。

大口盐井，从秦代开始，历世相承，至唐代发展到了顶峰，抵北宋初，官井如江河日下，走向衰败。到建炎后，官井已奄奄一息，屈指可数了。其衰败因素主要有：一是挖井、盛卤、煎制技术陈旧；二是直接生产劳动者，待遇菲薄，工作极苦，劳动积极性不高，给生产带来了严重的影响；三是官吏贪赃腐败，因循守旧，经营管理不善，由于种种弊病，不可避免地造成官井盐逐年减产，效益下降。如，熙宁初，西部著名的陵井监盐产量，“止能供得成都府一路州军公使军食等盐外，并无略有所获”。同时，官井盐质劣、价高，民众不愿买，乃至无人问津，出现“滞销”的严重状况，所以，官井必然遭受淘汰。

官井在日暮途穷、走投无路时，宋政府不得不重视其问题的严重，并权衡利弊得失之后，对官井政策来了一百八十度的大转弯，进行一次大的调整和改革，即由官井向私井转化，以挽救其气息奄奄的命运。熙宁四年（1071 年），陵州知州文同建议招商“扑买”陵井监，交私人经营，国家每年自然可获丰厚盐利——“官中自可端然收纳羡利”“除余利可以霑及买扑人外，依卓筒小井课利用五分析纳钱绢，官中并无靡费，岁可获一万三千八百余疋绢帛，并见大钱七千二百余贯，及免得酬与监中主当公人等十一处场务及监内诸般销费共一万零八百余贯”[27]。南宋绍兴十六年（1146 年），长宁淯井监又转交私人经营。宁宗以后，四川除夔州路外，“三路官井……依官田法，招人投买”。正如卖官田一样大批出卖官盐井，其本质上实属出卖制盐资料所有制的行为[44]，为官井摆脱困境，寻求出路。

总之，卓筒井的生存、发展与斗争，横贯两宋盐业史。

大井（即官井）则属国家官有制，于是由国家经营，处于垄断地位，同时，国家给以扶持和保护。自卓筒私井发明后，便与官井发生了激烈的竞争。由于官井的弊病，在竞争中惨败，一直走下坡路，衰败不堪，一蹶不振。面对官井的穷途末路，宋政府便实行了开放的盐政，招商“扑买”或“投买”官井，由官井向私井转化，以起死回生。到南宋时，四川官井未向私井转化的，已寥若晨星。“荣、隆等十七州，则皆卓筒小井”[61]。

新型的卓筒私井一出现，便打破了官井的垄断地位。因而，立即遭到官府的打击、封闭。但由于私井的优越性，具有强大的生命力，所以在民间得到保存、发展与壮大，终于由禁封转到承认其合法地位，并且获得了飞速的发展。到南宋绍兴二年（1132 年），蜀省四路共有 4 900 余眼私井，比北宋初 700 余眼私井增长了近七倍。私井的迅猛发展，加之官井向私井的转化，于是，私井已占据了绝对优势，处于主导地位，取官井而代之，从而导致了宋代四川井盐业所有制的大变革。





## 第五节 川北大英乡卓筒井
## ——北宋卓筒井遗址调查

川北蓬溪县大英乡境内的卓筒井，乃是北宋卓筒井仅有的遗存，堪称蜀中和神州大地上的一绝。因而，备受盐业、石油、文物、史学等各界专家、学者的关注，同时得到了国家的重视和保护[62]。

### 一、川北大英乡卓筒井的发现

关于卓筒井工艺的发明，这在我国北宋苏轼著《东坡志林》卷四《蜀盐说》和文同《丹渊集》卷三四《奏为乞差京朝官知井研县事》中都有明确的记载。

苏、文的史记，十分珍贵，为当今研究我国及世界井盐、石油钻井史的起源，提供了可靠的史证。

但考究井盐史的起源和发展，研讨其历史、科技及学术价值，除了从文献记载中查寻和获得有用的史料外，同时还要走出研究室，到实地考察或现场调查取得实物资料（如古井遗址、生产工具等），以补充文献记载的不足，或以印证和辨别其真伪。如，以上提及的苏、文著述中关于卓筒井的记载，难能可贵，有重大的价值。但卓筒井属科技史的范畴，苏、文名著中仅有文字记载，缺乏实图和具体数据，所以有些文句难以理解，需要从卓筒井实例加以考证、深化和完善。

四川是我国井盐生产的发祥地，两千多年以来①，井灶生产遍布各地。虽由于社会的进步、生产力的发展，许多地区陈旧落后的生产方式，自然被淘汰，或人为的原因，遭受毁坏，今荡然不存了。但也有少数地区，尤其是边远山区，尚遗存古盐井、古盐场、古遗址，甚至有的古盐场生产一直沿袭到现代，从而为考究井盐史提供了实物依据，人称“实物档案”。

1985 年 11 月至 12 月初，自贡市盐业历史博物馆考察队，赴川东、川北广大地区进行考察，其内容包括自然盐泉、大口盐井及卓筒井现存的遗址或遗迹，并收集了大量的文物、史料及口碑材料。从川东到川北，历尽千辛万苦，踏遍了山山水水，一个偶然的机会，在川北地区考察中，奇迹般发现了宋代卓筒井的遗存——蓬溪县大英乡卓筒井群。该乡境内，现存井数 41 眼，盐井仍是应用古老的生产方法，如，采卤方式、生产规模、设置机械、使用工具、井身结构等，再现了宋代卓筒井的模式。自贡市盐业历史博物馆考察队《川东、北盐业考察报告》中道：“大英乡卓筒井与史籍上所记载的宋代卓筒井极为相似，它对研究古代四川盐业具有重要的参考价值。”李全民先生亦在《大英乡卓筒井》一文中说：“直到今天，在四川北部的蓬溪县大英乡境内，还保留着宋代小口径卓筒井的凿井技术特征，采用竹子作套管和凿井工具等设施，从中可以窥见北宋卓筒井的历史遗址。”[62]同时李先生在该文中又说：“近几年来，自贡盐业历史博物馆、北京清华大学化学系、四川省文化厅、四川省文物管理委员会、四川省博物馆、四川省电视台等单位，先后派专家、学者专程来蓬溪县大英乡进行实地考察并现场录像，

① 此仅指井盐生产的历史，但未包括泉盐生产在内。



认为它（系指卓筒井——作者注）是研究中国盐业和钻井的珍贵实物资料、活化石。”[62]

1997 年 11 月，作者为了搜集新的资料，特别是第一手资料，专赴川北卓筒井诞生地及现存遗址进行实地考察，征集了一批新资料和实物资料，十分可贵。为此，大英乡卓筒井实物标本，反映和印证了北宋卓筒井的模式。同时，通过现场考察，也加深了对苏轼和文同关于卓筒井简略文述内涵的了解。苏轼说：卓筒井口径“如碗大，深者数十丈”。又说：其井身结构“以巨竹去节，牝牡相衔为井，以横隔入淡水”。[22]文同亦讲：“凿地植竹，为之卓筒”[27]。据实地考察：大英乡卓筒井一般井深 110 ~ 130 米，深者约 150 米，浅者约 70 米。但全井分上下两大段，上段名大窍（即大井眼），井深 18 ~ 50 米，口径为 15 ~ 20 厘米，用大楠竹（直径约 10 ~ 15 厘米）首尾榫扣相连，即表层套管下入井中，隔绝上层淡水；下段为小窍（即小井眼），口径约 6 ~ 8 厘米，为裸眼井段，由硬岩层（如砂岩）构成井壁坚牢，不易垮塌。

但新钻盐井，按设计要求，当一井完钻，若卤水含盐量 70 ~ 100 克，日产卤 0.5 ~ 2 立方米，则以认为钻井成功。如钻井中，不能隔绝浅层淡水，称之“漏井”或因选井址不当，凿井无（卤）水，名为“干井”。无论“漏井”，或“干井”，只有报废，重新钻井。可见，苏、文记载的北宋筒井，与大英乡遗存的卓筒井基本一致。

大英乡卓筒井的分布。据史载，川北地区的蓬溪县历来盐业生产十分兴盛。至迟从唐代便开始凿井和采卤了，“有盐井 13 所”[63]。宋代，其地仍是四川卓筒井普及地区之一。到清初，射洪、蓬溪（简称射蓬盐厂），旧名华池厂，盐业生产达到最盛。清康熙二十五年（1686 年），射蓬厂有盐 447 眼[64]，至雍正九年（1731 年），猛增到 3 570 眼[65]，独执四川井盐生产之牛耳。

蓬溪县河边区大英乡，历史上盐业兴旺，是射蓬盐厂主要的产区，民国时期设有“大英场务所”，拥有盐灶 108 家，活井（生产井）1 711 眼，年产盐 4 000 吨，产品行销金堂、简阳、乐至、安岳、大足等地。目前尚存盐灶九家，盐井 41 眼（见表 4 – 3）。

**表 4 – 3　川北蓬溪县大英乡灶井统计表**

| 灶　名 | 井名 | 所在村社 |
|---|---|---|
| 大顺灶 | 乱葬坟井、深井、老井、坟山井、望乡台井、菜子井、哑口井、边界井、坝子井、岩脚井、上广井、沙凼井，计 12 眼井 | 关昌村九社 |
| | 包儿井、双合井、包包井、上广（小井）、下广井、自棚井，计 6 眼井 | 关昌村三社 |
| 鼎兴灶 | 洞子井，计 1 眼井 | 青木村五社 |
| 同心灶 | 广井、竹林井、黄楝井、大同井，计 4 眼井 | 快活岭村三社 |

| 灶　名 | 井名 | 所在村社 |
|---|---|---|
| 快活灶 | 宅后井、岩脚井、夜合井、岩匡井、烟炉子井、坟山井、大角井、石滩井，计8眼井 | |
| 鸿发灶 | 道班井、漆树井、茅厕井，计3眼井 | 三兴村五社 |
| 先锋灶 | 发水井，计1眼井 | 三兴村十三社 |
| 万和灶 | 垭口井，计1眼井 | 吴家桥村十社 |
| 旭东灶 | 岩匡（小）井、包儿（小）井，计2眼井 | 吴家桥村十二社 |
| 祥发灶 | 茅厕（小）井、竹坪井、烟炉井，计3眼井 | 青和村六社 |

**采自：李全民《大英乡卓筒井》[62]**

这些井分布在大英乡所属的关昌、青木、快活岭、三兴、吴家桥、青和计六个自然村，方圆6平方千米范围内（见图4－5）[62]。

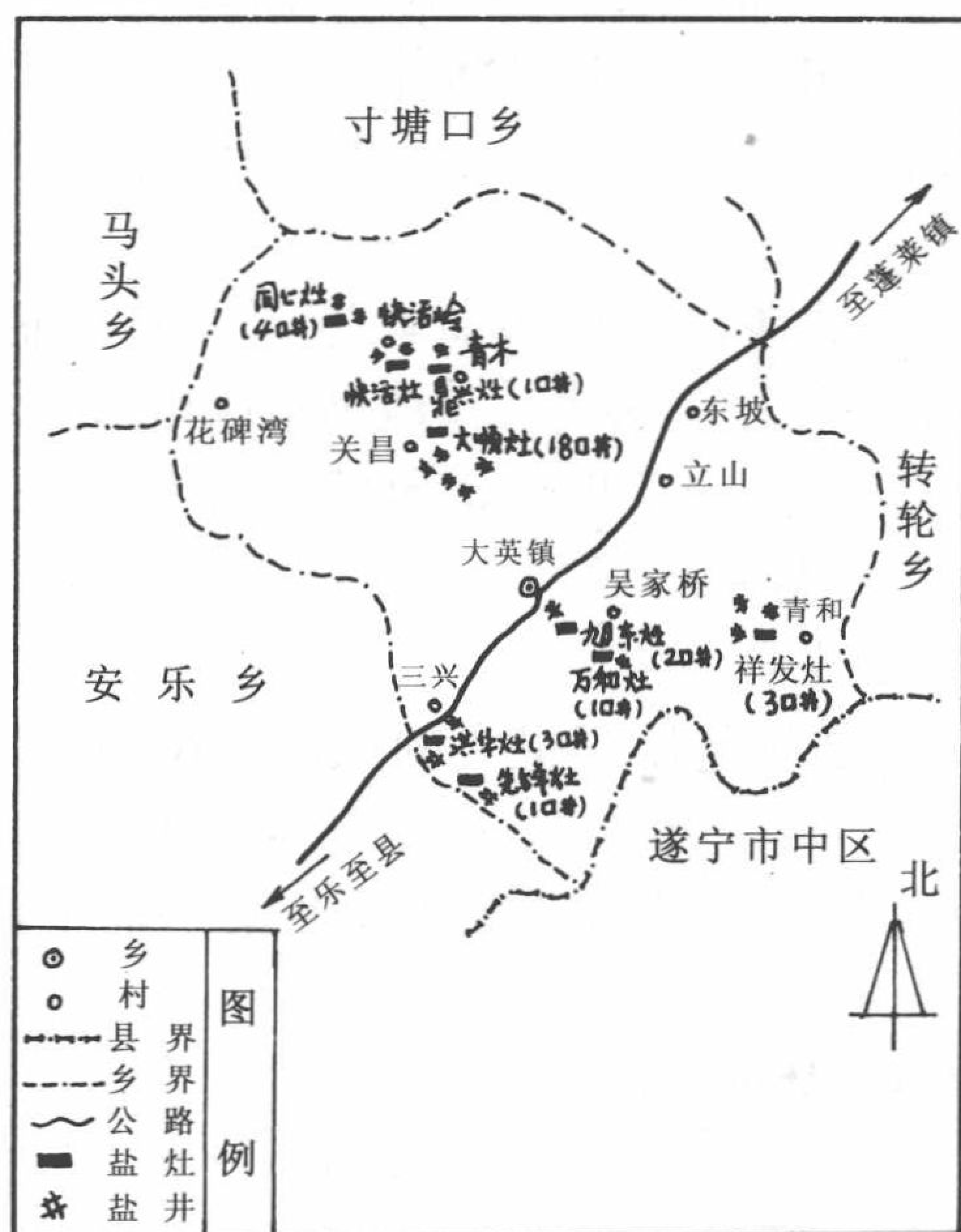



**图4－5　川北大英乡卓筒井分布**

**采自：李全民《大英乡卓筒井》[62]**

大英乡卓筒世代沿袭，持续近千年，生产不断。其凿井、汲卤、煎盐生产工艺，保持了宋代卓筒井的基本形态和主要特点，与苏轼、文同名家所记述的北宋卓筒井相同，对于研究中国盐业及钻井史具有重要的价值。

由表4－3及图4－5可见大英乡现存灶井有大顺灶，下辖盐井18眼，鼎兴灶辖井1眼，同心灶辖井4眼，快活灶辖井8眼，鸿发灶辖井3眼，先锋灶辖井1眼，万和灶辖井1眼，旭东灶辖井2眼，祥发灶辖井3眼，总计九灶辖井41眼。

## 二、大英乡卓筒井采卤方式

卓筒为钻井采卤，而井卤的采汲是通过简单机械来实现的，即人们应用采卤机械将井里的卤水，采汲到地面，然后供灶上煎盐。因此，卓筒井采卤方式，应包括两个方面，一是采卤机械；二是采卤工艺。

### （一）卓筒采卤机械

北宋大文豪苏轼在《蜀盐说》中述道：“凡筒井皆用机械。”

又南宋淳熙年间，四川安抚制置使胡元质奏章云：竹筒“小井，谓之卓筒，大不过数寸，深亦数十丈，以竹筒设机抽水。”[35]由苏轼说：“凡筒井皆用机械”和胡元质称“竹筒汲机抽水”已证明，宋代卓筒井用了机械采卤。但这种采卤机械（包括何种机械），他们的记载中均无明确说明。南宋著名爱国诗人陆游《入荣



州境》诗中，写有“长筒汲井熬雪霜，辘轳咿哑官道旁”。由此可知，当时荣州（今四川荣县）卓筒井采卤，则有“长筒”和“辘轳”两种重要的机械。同时，又间接地得知，“长筒”与“辘轳”之间的连接还有采卤“绳”，不然，仅有筒和车怎样采卤？可见，宋代卓筒井采卤机械有长筒、辘轳及竹绳三种基本机械，这三种机械可满足筒井采卤工艺的要求。

大英乡卓筒井采卤机械。它是宋代卓筒机械的沿袭，主要有羊角车（即采卤动力绞车，又称花车，盐车，俗名狗爬车）、汲卤筒、火掌篾（即汲卤竹绳，取名“火掌篾”）、引杆（即现代井架的前身）、刹车带（俗称勒篾）。

1. 羊角车

即采卤动力绞车，安设在井口旁，以柏木或硬木制成车盘，直径1.5～3.0米左右，沿（圆）盘由木枋分为8格至16格不等。推卤时，起着升降作用。

2. 汲卤筒

以斑竹或楠竹制成，用于采汲井卤。它的具体制作方法：第一，先用斑竹，令其伸直，长约0.7米，直径5～7厘米，中通节、外节削，制作成短筒。第二，以数节短筒连接组装成整架长筒。最末一节筒，底部置牛皮活塞，其皮塞入水则开，出水则闭，开闭自如，制作十分巧妙。因各井口径大小不同，井卤盈缩的差异，则汲筒长短，直径大小也不一。

3. 火掌篾

即汲卤绳，以楠竹剖开削成竹条，宽约3.0厘米，厚约0.5厘米，用麻纫连接而成，抗拉强度为2.34吨。其总长视井深而定，如道斑井篾长120米，老井为130米（详见本章第二节：四、悬吊钻具凿井的“火掌篾”）。

4. 引杆

即原始井架的形制，用数根竹杆或树条捆扎而成，直立井口一侧，高约6～10米，四周牵篾绳固定。杆的上部套有竹笼，作为汲筒出井口后，伸入笼圈定位和依托，不致倾斜。

5. 刹车带

俗称勒篾，由年老的慈竹或斑竹对剖并捶成竹片，长度围绕羊角车一圈为限。它的一端固定于地，另一端由操作者控制。当汲筒入井时控制车速的快慢，起着刹车作用。

（二）卓筒井采卤工艺

大英乡卓筒井采卤工艺包括：采卤机械的组装、放筒入井、引水入筒、推筒出井、钩水入篓，计五步操作程序：

第一，采卤机械的组装。由上述可知，采卤机械主要由羊角车、火掌篾、汲卤筒及引杆等组成。并按采卤工艺流程的要求，即将各种机械排列、组装、安置在井旁。羊角车设置靠近井口，火掌篾一端与羊角车相连，另一端系吊汲筒，由车、篾、筒、井组串成一条生产线，并以人力驱使车盘，带动篾筒，出入井中。

第二，放筒入井。地面机械组装完毕，即可放入井。由汲卤工匠手控刹车带徐徐转动羊角车，随之，带动火掌篾牵引着汲筒，放筒至井底。

第三，引水入筒。一般卓筒井，卤源欠丰，水位低（俗称：液面低），不能汲满筒，需引水入筒（俗曰：抖水）。因此，汲卤工（按一定冲程）便反复用脚蹬动





（或用手搬动）羊角车车枋，筒在井底也做上下往复运动，活塞一开一闭，致使卤水不断进入筒内，直至注满全筒，则谓之引水入筒。

第四，推筒出井。汲卤工以手脚并用，踩搬动羊角车，竹篾环绕于车盘，引筒而上，推筒出井口。

第五，钩水入篓。当帽筒出井口时，便立即刹车停转，用一小铁棍横穿帽筒穿孔，承在井口上，并取掉火掌篾，同时把羊角车搬离支撑的石条，再用两手握紧汲筒用力往上提。如两人同班汲卤时，则可相互交替向上提。若一人作业，则手持筒身提出一段后，再用脚将汲筒蹬靠井壁，不致下坠，接着继续往上提，直至汲筒上端套入引杆竹圈，全架筒提出井口。这时，用筒钩（又名水钩）顶开皮活塞，全筒卤水流入盛卤的篓子里，挑运灶上煎盐（见图4－6）。



图4－6　挑卤竹篓
川北大英乡宋代卓筒井遗址

总之，卓筒采卤方式是简单的，然而也是很科学的。其主要优点：第一，卓筒机械制作科学。如汲筒不仅用于采汲井卤；而且还用来钻井取沙，其科学原理与现代凿井顿钻的“捞砂筒”相同。竹绳（火掌篾）也类同现代“钢丝绳”的应用，因此，汲筒和竹绳是古代井盐生产中了不起的发明。第二，操作简易、灵巧。由人工踩动机车（羊角车）。以带动竹绳牵引汲筒，操作自如，简便灵巧，上下往复，出入井中，采汲井里卤水。第三，占地少，用工少。因采卤机械简易，同时井场设置合理，所以，占地少，全套机械仅占地数平方米。采卤时一般用工约1～2人。第四，工效高，获利丰。大英乡卓筒井生产因其卤量丰歉不同，分广水井和歇水井两种。以广水井为例，一口井昼夜产卤约2立方米，含盐量以85克/升计，则煎盐除卤中杂质和损耗外，可成盐约160千克，因此工效高。历史上盐价昂贵，获利甚丰。当然，现在大英乡卓筒是国家稀世之宝，不是为了获利，而是以“保护为主，生产为辅”，生产是为了保护。

## 三、大英乡卓筒井生产劳动分工

大英乡卓筒井盐业，其特点是：以灶为单位，一个盐灶下辖约10口小井，生产规模大的灶，下辖20口小井。即是说，由10～20口井所产的卤水方能供一灶煎盐之需，人称：“灶统井”。因此，一灶用工8～15人，按其生产劳动分工，主要有钻（治）井、汲卤、煎盐（包括晒卤、滤卤）三大类别。现将井灶生产劳动分工简述于下：

第一，灶户。历史上，大英盐区系小井灶均属私人所有，拥有盐灶者称之“灶户”。但灶户产出的食盐必须全部上交国家专卖，而自己无权销售。如灶户自销，则叫“私盐”（俗“贼盐”）。可见，卓筒盐，灶户只产不销。

第二，懒子（今名钻井工）。凡能独立承担钻井和修治卓筒井的工匠，俗称“懒子”。同时，懒子根据地质条件负责选择井址（俗曰“相井地”）。新选井位要求：一是要求不能打成漏井（即淡水井）；二是要求不能打成干窟窿井（即无卤水



的干井）。如若打成"漏井"或"干井"，则成为"废井"。

第三，搬车匠（即钻井学徒工）。在学徒期间首要任务是搬车（钻治井专用车，如羊角车等）。因此，未出师之前的钻井学徒工，俗名"搬车匠"。

第四，筒匠（今名汲卤工）。其工作业务是踩汲卓筒井里的卤水，劳动强度大，长期在野外作业，十分艰辛，因此，筒匠是身强力壮的青工，他们多来自无地无业的游民或单身汉。

第五，灶匠（今名煎盐工）。灶匠是灶上煎盐的技术工，其工作业务是挖灶、安锅、煎盐、炕盐等。

第六，晒水匠（今名晒卤工）。卓筒井深度有限，卤水含盐量低，一般在100克/升以下。为此，晒水匠的工作业务，是将井里采出来的淡卤通过枝条架及筒车翻晒，可将淡卤浓缩至200克/升左右，然后运到灶上煎盐。晒水匠是灶匠的徒弟。

**四、大英乡卓筒井遗址的保护**

北宋四川发明的卓筒井，历时近千年，省境内其他地区早已绝迹，唯川北蓬溪县大英乡卓筒井沿袭至今，其钻井工艺、井身结构、生产方式等特点，再现了宋代卓筒井的模式，具有重大的历史价值和科学价值。

自1985年，大英乡卓筒被发掘出来后，便受到了国家的重视和保护，随之，专家、学者慕名而来进行科技考察，国内外游客参观络绎不绝，在社会上引起了广泛和很大的反响。

1985年，为了保护这一"国宝"，组建了"大英乡制盐厂"（今更名"四川蓬溪县大英乡卓筒井制盐厂"，进行保护性生产。

同年，文物部门和当地政府对大英九灶及其下辖41井进行全面普查、登记、建立盐史档案，划分保护范围，落实保护责任。

1990年12月22日，大英乡卓筒遗址被蓬溪县政府列为县级文物保护单位。

1991年4月17日，大英乡卓筒遗址被四川省人民政府列为省级文物保护单位。

1994年，大英乡卓筒遗址申报国务院，要求列为国家级文物保护单位。

为了让中国人民和世界人民了解卓筒井的历史价值和科技价值。由赴伯蒂编剧，四川电视台及四川盐务局合拍了三集电视连续剧《卓筒井》，相继在川省电视台、中央二台播放。

为了向青年一代普及科技知识，了解中国古代钻井技术的发明，西南石油学院编写了《中国古代钻井史》，作为大学教材。同时还专门拍了《大英卓筒井的工艺流程》，以便对国内外进行学术交流及史料的永久保存。

近年来，各级政府及有关部门，制定了一系列保护卓筒井的特殊政策和措施，并拨给专款进行维修、复原、长期保存，让世人了解，世界钻井术发明在中国，而中国钻井发明在四川，川北大英卓筒井的遗存，提供了实物的见证及历史的依据。

## 第六节　川北卓筒井向纵深开拓没有重大突破的考察

由于当时社会对食盐的需求和开凿盐井技术的需要，并在汉唐大口井的基础上，于北宋皇祐、庆历年间，四川陵州井研地区民间巧匠发明了井盐生产的新工

艺——卓筒井。

然而，卓筒井工艺最早在川北地区问世，为何井深没有在川北地区首先获得重大突破，从宋初至清（代）末，长达八个多世纪，卓筒井钻凿深度一直停滞在“几十丈”[22]“百丈”[66]或“百余丈”[67]的低水平上（即100至400米左右）。与川北地区相反，明清时期，特别是清代，川南自贡地区卓筒工艺获得了重大改进和发展，钻井深度开创了千米大关，深钻技术取得了举世瞩目的成就。关于川北卓筒井向纵深开拓没有重大突破的考察，主要因素有：一是生产力水平低；二是钻井工艺不完善；三是卤水资源贫乏；四是历代沿袭“经验型”钻井有关。现分述如下：

**一、生产力水平低**

生产工具是生产力的重要因素，也是衡量社会生产力发展水平重要的尺度，同时又是社会生产力关系的指示器。川北地区井盐生产力水平低，主要是反映在钻井和修治井工具不成熟，所以，扼制了钻凿井深向地下纵深的发展。

（一）钻井工具的单一和形制结构的不完备是川北筒井不能向纵深发展的重要因素之一

井盐生产很重要的一环是钻井。钻井采卤也正是井盐生产的特点，由此以区别海盐和池盐。但是，钻井工程浩大，其技术要求复杂，且工期漫长。故此，古人曾感叹：凿“蜀井难”[68]。而钻井的速度和深度，除工匠技能等因素而外，很大程度上决定于钻井和修治井工具（包括地面动力设备）。

据史籍记载，川北地区早期凿盐井的钻井工具，仅分大、小两种不同的型制。北宋庆历、皇祐年间（1041—1054）发明的“圆刃”锉，是我国和世界上最早研制成功的钻井工具，它的发明，是大口盐井向小口深井变革的重要标志，毋庸置疑，其科学价值应以彪炳史册。但是，圆刃锉毕竟是一种雏形的钻井工具。据考究，圆刃锉是大小圆刃锉两种钻头的总称或简称①。圆刃锉从宋初发明，迄至明代后期得以初步改进，甚至川北有的盐区，一直沿袭到清代，历经宋、元、明及清四代，先后长达800多年。《论语》云：“工欲善其事，必先利其器。”如长期使用这种原始的钻井工具，那又怎能向地层深部开拓？这是不难理解的。

总之，自宋至清（代），川北地区凿井仅仅用了大、小两种简单的钻井钻头。由于盐区地层不复杂、岩石硬度低、井浅、井径小，所以，这两种钻井工具基本适用。在川南自贡地区，这两种钻井工具则不能满足钻凿深井的需要。

清代，川南自贡地区的钻井工具发展日臻完善，达到了新的水平。其凿井工具种类繁多，规格齐全，形制多样，既有凿大口的鱼尾锉，又有凿井速度快的银锭锉，还有治岩石裂缝的马蹄锉及钻凿井底岩石半软半硬、预防井斜的垫根子锉等。这些钻井工具珠联璧合，相得益彰，能适应钻凿井里的硬岩、复杂地层、岩石裂缝等各种情况。正因自贡地区钻治井工具日臻成熟，所以，于19世纪30年代初井深突破了千米大关。这与川北地区钻井工具单一，钻头结构不完备，仅能钻

---

① 关于圆刃锉的种类和形制，见本章第二节：一、现代深井钻头的鼻祖——关于“圜刃”钻头发明的考证。



凿300~400米的浅井，形成了鲜明的对比。

（二）不成熟的修治井工具乃是制约了川北卓筒井向深部地层开拓的又一重要因素

修治井工具是井下工具中一个重要的组成部分。其功能奇异、独特，为解除井下种种故障，确保钻井和生产正常进行创造了条件。

修治井工具最先创制在宋代，初步发展在明代，达到高峰在清代。前二者在川北地区，后者在川南自贡地区。明代后期川北地区的钻治井工具，据《盐井图说》和《天工开物·井盐》分类如下：一是凿井工具；二是连接工具；三是打捞工具；四是淘井工具；五是推汲工具，上述各种工具计五大类计15种。在15种工具中，尤以打捞工具铁五爪和淘井工具搜子制作甚巧、功能奇特。这些工具对于川北地区"卓筒小井"（"百丈"井深）的钻凿和处理出现的各种井病，已基本可以满足需要。

清代，川北地区修治井工具，仍没有重大突破。据清光绪九年（1883年）《射洪县志》卷一六《射洪洋溪镇新建盐神庙碑》记载："凿井为利无穷，土人立寺祀之……穿井之器：有机、有绠、有井礧、有木竹、有大钎、有小钎；汲井泉之器：有筒竹、有绞篊、有车、有车床、有辘轳、有楼架、有竹笕；治坏井之器：有漕钎、有井锯、有桶子、有镘子、有提须、有刮筒；煮盐之器：有潢、有甕、有牢盆、有楼、有灰潢、有烟筒。"碑文记载颇详可贵，并将井盐生产分为凿井、汲卤、治井、制盐四大环节，与我们今天的划分是基本一致的。可划分为如下种类：1. 凿井工具，有大钎、小钎；2. 打捞工具，有提须；3. 固井工具，有井锯；4. 推汲工具，有筒竹（应包括火掌篾）；5. 淘井工具，有漕钎、镘子、刮筒。上述工具计约五类九种。就是应用这些工具，曾钻凿井数多达3 000眼左右，一时为射洪盐业的繁盛，跃居全川第一，做出了重要贡献。但钻凿井深为"数十、百丈"，与明代相比，不增不减。

又据清宣统二年（1910年）《四川南阆盐务图说》记载，"器具类"图说37幅，其中钻治井工具20种，[69]但我们据民初吴炜等编著《四川盐政史》第二篇第四章第六节《凿井之器具》，较为系统实录了川北地区的钻治井工具，这对清末凿治之器具予以佐证。川北各盐区钻井及修治井工具计5类19种，其中一是凿井工具，有大冲杠、二冲杠及马蹄杠（三种）；二是连接工具，有行杠（一种）；三是打捞工具，有提须、扫镰及夹千（三种）；四是固井（叼下）工具，有铲子、土地排杠、锯子、半边脑及侧马（五种）；五是淘井（维修）工具，有方巾头杠、海螺、刮筒、勒子、癞棒、疏子及插筒（七种）（上述各种工具，有图像及释文的15种，无图像有释文的4种）。同时《盐政史》还记载犍乐盐区，有凿治井工具计12种，井仁（井研、仁寿）、资中盐区，有凿治井工具计7种，在此不再详述了。

清代，川南自贡盐区的修治井工具，达到了新的高峰阶段。清代川北区的修治井工具没有什么重大的改进，基本是停留在明代的水平上。相反，川南自贡盐区的修治井工具，却在明代的奠基上，结合同井病斗争的长期实践，有了高度的发展和完善。据《四川盐法志》卷三和《自流井风物名实说》记载及盐场生产井的考察证实，钻治井工具共划分为11大类，计100余种。为了便于川南与川北对比，现列于表4-4。

表 4－4　川北与川南钻治工具对比

<table>
<tr><th colspan="4">川北</th><th colspan="2">川南</th></tr>
<tr><th colspan="2">明代</th><th colspan="2">清代</th><th colspan="2">清代</th></tr>
<tr><th>工具分类</th><th>工具名称</th><th>工具分类</th><th>工具名称</th><th>工具分类</th><th>工具名称</th></tr>
<tr><td>钻井工具类</td><td>大铁钎、小铁钎等</td><td>钻井工具类</td><td>大钎（大铁钎）、小钎（小铁钎）。计 2 种</td><td>钻井工具类</td><td>鱼尾锉、银锭锉、双马蹄锉、垫根子锉，计 4 种</td></tr>
<tr><td>打捞工具类</td><td>铁五爪、搅镰，计 2 种</td><td>打捞工具类</td><td>提须、搅镰、铁五爪、夹千等</td><td>打捞工具类</td><td>木龙、系子、死偏尖、活偏尖、独脚棒、柳穿鱼、五股须、四股须、抱爪、提须子、连环提须、月亮提须、夹千子、羊蹄子等 16 种</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>辅助打捞工具类</td><td>四楞子、双刀、单刀、穿鱼刀、提须刀、乌龟背、虎舌、催子、单瓦口、拐脚瓦口、牛耳（朵）瓦口、笋壳瓦口、双瓦口、扫镰、吊脚提须等，计 17 种</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>固井工具类</td><td>井锯，计 1 种</td><td>固井工具类</td><td>羊蹄子、棺材头、欠篾、偏楔、锯子、铇子、位镰、正心、叨杆等，计 10 余种</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>测补工具类</td><td>竹发口壳子、木孩儿、泥孩儿、考水筒、欠杆子、灰筒、旋棒、考水盆等 10 多种</td></tr>
<tr><td>淘井工具类</td><td>镂子、漕钎、刮筒、泥筒，计 4 种</td><td>淘井工具类</td><td>漕钎、镂子、刮筒，计 3 种</td><td>淘井工具类</td><td>二水镊子、平头提须、盐杆铲竹壳子。泥筒、霸王鞭、吞筒子、财神锉、蛇皮、松球子、一匹草、列子、草鞋板、连环等 10 多种</td></tr>
</table>



（续表）

| 川北 | | | | 川南 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 明代 | | 清代 | | 清代 | |
| 连接工具类 | 扣环、撞子钎，计2种 | 连接工具 | 带槽子、扣环、边棒 | 连接工具类 | 转槽子、挺子、长条、挽子、竹把手、竹篾、揹木、连环等9种 |
| 推汲工具类 | 推水筒、火掌篾，计2种 | 推汲工具类 | 筒竹（应包括火掌篾）等，计2种 | 推汲工具类 | 推水筒、篾索、竹脚子（包括皮钱、竹闩）、铁箍等多种 |
| | | | | 扶正工具类 | 窝弓、梭皮、袖笼子，计3种 |
| 井口工具类 | 篾刀、锯子 | 井口工具类 | 篾刀、锯子 | 井口工具类 | 铜刀、锯子、保险枷枷（又名井帽子）等 |
| 地面设备类 | 天车、盘车、小碓架 | 地面设备类 | 碓架、天车、大车、花车 | 地面设备类 | 天车、大车、碓架、天、地辊子、花辊子等 |

列表依据，明代：据马骥《盐井图说》，宋应星《天工开物·井盐》；川北清代：据《射洪县志》卷一六（清光绪九年）；川南清代：据丁宝桢主编《四川盐法志》卷三及吴鼎立《自流井风物名实说》。

据上述和表3－4川南与川北钻治井工具的对比可知：自明代后期迄至清代，川北的钻井工具分大小两种，一直没有重大改进，亦即，清代川北的钻井工具基本上是停滞在宋、明（代）水平上，用“圆刃”锉、“铁钎”钻头开凿卓筒井。同时，由于钻井工具没有重大改进，所以，为钻井和生产创造条件的修治井工具也没有新的突破，其种类不齐，工具不完善，如奇缺“辅助打捞工具类”、“测补工具类”及“扶正工具类”。深井钻凿，缺乏这些工具，则是根本无法进行的。在此，我们根据川南与川北钻机（包括钻治井工具的成熟和否）、动力设备碓架和升降设备（如花车的大小，结构复杂与简单等）的特点和性能，并将宋、明、清三代的钻机分为三种型制：

宋代（川北）圆刃－300型钻机，其钻机能力钻深“几十丈”，估计钻凿最深可达300米左右。

明至清代（川北）铁钎－400型钻机，其钻机能力为“百丈”或“百余丈”，推算320～400米左右。

清代道光中叶，（川南）鱼银（以鱼尾锉、银锭锉的“鱼”和“银”冠字取名）－1 000型钻机，钻机能力超1 000米（自贡盐场于1835年钻深达1 000米，以后还大大超过这个深度。）

生产工具是生产力的物质条件，也标志着社会生产发展的水平。既然清代川北用的钻机停滞在宋、明（代）钻机能力的基础上，那么，它的凿井深度就限制在300至近400米左右，这是制约川北卓筒井不能向地层纵深开拓的重要原因（当然还有其他的原因）。与此相反，清代川南自贡地区，其钻治井工具的发展日臻成

熟，各种类型工具都远远超过了明代，取得了惊人的成就。由明代的5类15种，发展到11大类100余种，以类别计，川南比川北增加近两倍，以种数计，增加约六倍。为此，我们就不难理解，为什么四川钻凿超千米的深井，首先在川南自贡地区突破，而不在川北地区突破的根源。

## 二、钻井工艺不完善

川北卓筒井工艺不完善，虽然表现在多方面，但是，主要集中表现为缺乏补腔技术。卓筒工艺还是停留在明代的基础上，没有重大改进，缺乏“补腔”技术，这可以从卓筒钻井工艺得以证实。据明代万历年间（1573—1619），四川射洪人马骥撰的《盐井图说》和清《蓬溪续志》卷一史载，综合归纳为明清时期川北卓筒井钻井工艺分为：相井地即选定井位；立石圈即开钻和下导管；凿大窍即钻进和下表层套管；凿小窍即钻小眼达目的层；取泥水即捞泥沙；钩取井下坠物即打捞井下事故，计六道工序。

随着井深的增加，岩层的变化及地质情况的复杂，清代川南自贡地区深井钻凿工艺，又在明代的奠基上，进一步发展完备。据清光绪八年（1882年）四川总督丁宝桢主编《四川盐法志》记载，其深钻工艺分八道严密工序，为便于了解明清川北卓筒井钻井工艺，此将川南、川北钻井工艺列于表4－5。

**表4－5　川南、川北钻井工艺列表**

| 分区 | |
|---|---|
| 清代川南自贡地区深井钻凿工艺 | 明至清川北地区卓筒井钻凿工艺 |
| 1. 查地脉 | 1. 相井地 |
| 2. 开井口，下石圈 | 2. 立石圈 |
| 3. 凿大口，下木竹（柱） | 3. 凿大窍、下木竹 |
| 4. 凿小口、见功 | 4. 凿小窍、见盐水 |
| 5. 腾位子 | 5. 取泥水 |
| 6. 搧泥 | 6. 钩取坠物 |
| 7. 取难 | |
| 8. 补腔 | |

川南：据丁宝桢主编《四川盐法志》卷二；川北：据马骥《盐井图说》及清《蓬溪续志》卷一

据1985年、1987年及1997年赴川北实地考察，早期在凿井过程中，没有“补腔”工艺，由此与史载相吻合。川北（如射洪）在钻井中遇地层垮坍，是如何解决的？据工匠介绍，对付地层垮塌一般采用三种办法：其一，减少地面水倒流入井内；其二，控制井里的水位不要涨至地层垮塌处；其三，徐徐下放入井内的工具（俗曰放慢点），以防止工具与岩层碰撞，可减少岩层垮坍。

为钻深井的需要，川南自贡地区发明并成功地应用了补腔工艺，早在清（代）富顺县令吴鼎立撰的《自流井风物名实说》就有明确的记载：“走岩、崩腔、油灰（桐油与石灰相拌混而成）作丸，以弥缝其阙，无不应者。”所谓补腔，即是指补垮塌岩腔或水腔等。其补腔的工艺为考腔→打草把（井中悬空的草塞子即类同现代钻井中水泥塞）→下油灰补腔→旋灰→（将灰压紧和挤入岩腔中）→养腔（后



凝结晶）→开腔→抓草地→清井→恢复井下正常工作。

新钻井时，常遇到松软的地层（如泥岩、页岩、绿豆岩等）垮塌，或钻遇地层的淡水，影响钻进，若地层垮塌与淡水交织在一起，则地层垮塌更严重，钻井根本是无法进行的。因此，必须进行补腔。川南地区发明了补腔技术，而早期川北地区就缺乏这种技术。（民国时期川北地区就向自贡学习了补腔新技术。）所以，古代上千米深井，首先开创在川南自贡，没有出现在川北地区，亦是其重要因素之一。

**三、川北浅层卤水资源贫乏**

地下卤水资源的盈缩和咸淡决定盐井生产的价值。川北地区浅层卤水资源贫乏，限制了向深部地层继续开拓。而卤水资源贫乏的主要标志：一是卤咸淡；二是卤量少。

由于川北地区地质构造简单，岩层单一，地层较新（卤水多赋于“蓬莱镇组”、遂宁组等中）、埋藏浅，因此，卤淡盐微（卤咸品位低），而且地下储量有限，除极少数井外，一般产卤不丰。据明正德《四川志》卷二五载道：由于盐课加重，而又“井老水淡，山童柴少，视之昔年，艰窘百倍，灶丁逃之数多”，以示反抗。又川北《蓬溪县志》卷一五云：“凡井日夜有（卤）水，而味咸者，谓之‘广水井’（即昼夜连续生产的卤水井——作者注）；一日之内，按时有水者，谓之‘歇水井’（即昼夜间断开采的卤水井——作者注）；水少而味淡者，谓之‘淡水井’。广井盐多歇井，淡井盐少。”由此可知，川北蓬溪地区，依据盐井产卤水的多少，含盐量的高低，分为广井、歇井、淡井三种。但是，据川北现场调查，所谓广（水）井，即井卤丰富，能供昼夜不断开采，日产卤 2 立方米左右。而卤咸较低，一般 100 克/升以下；所谓歇（水）井，即卤水量少咸重，日产卤 1 立方米以下，含盐量在 100 克/升以上。为此，广井日夜采卤量比歇井高，于是煎盐亦比歇井多；所谓淡（水）井者，即顾名思义，为产卤少、含盐量低的卤井，自然“淡井”制盐就少了。上述三种井在川北地区具有普遍性。

又据清《蓬溪续志》卷一记载：“县境之井，居东则浅，其水淡。稍西则渐深，而加咸。北之井……水虽饶，其竭亦易，大概若此。”同文献卷一又云：卤咸“其厚薄，水十而成盐一，则水可煎（盐），下此则废。县之井泉有百成十四者至十六则鲜以。”这里提到的卤水，其含盐量还是比较高的。卤水与成盐的比率为 10:1，或 10. 0:1. 4 ~ 1. 6。但是，井水的产量太低，“（每）班之汲（卤），日得七八担者，盖鲜闻二担为丰，一担为恆耳，合五六井足供一班之汲。”若一班汲卤 6 口井，日产水（最多）8 担，则平均每口井产卤为 1. 33 担①（折计卤重 66 千克）；如按每班采卤（最少）一担计，则平均每口井产卤仅约 0. 16 担（折计卤重 8. 33 千克）。可见，水少得可怜。

川北地区，地下浅层卤水含盐量低，产卤量少，并非个别地区，而是川北普

① 担，即计量单位，因地区、盐场不同而异（如川北与川南非同）。关于川北卤水计量——担：《四川盐政史》卷二（51 页）云：犍为盐场卤井种类表备考注明“每担一百斤”卤重。同文献（第 53 页）上说：蓬遂盐场租井“汲水百斤”作为收租结账。可见，川北卤水计量按“每担一百斤（　　）”计。关于川南地区（如自贡）卤水计量单位——担，以考咸碗（简称：水碗）积数而成。如自贡东场黄卤 330 碗一担，重 212 市斤（　　）。黑水 260 碗一担，重 195 市斤。但计量颇复杂，与川北不同。

遍的现象。下面以例证作进一步说明。

例一，南阆盐场：一般每月每口井产卤“三十担以至三千担”。则平均每口井日产卤水1～100担（按30天计）。卤水咸“七钱至一两五六钱”[32]。

例二，乐至盐场：每月每口井产卤“二十担以至八十担”。则平均每井日产卤水约0.66～2.66担，卤水咸“六七钱至一两二钱”[32]。

例三，射洪盐场：每月每井产卤“数十担至一千二百担”。则平均每井日产卤水数担～40担。卤水咸“四五钱至一两三四钱”[32]。

例四，蓬遂盐场：每月每井产卤有余担至六百担。则平均每井日产卤水约3.33～20担。卤水咸“六七钱至一两三四钱”[32]。

上例盐场说明，一口井日产卤水最低为0.66担（如乐至场），最高者达100担（如南阆场）。卤咸最低为四五钱（如射洪场），最高的为一两五六钱①（如南阆场），卤产和卤咸反映了地下浅层卤水的特征。

据钻探证实，川北地区深部（上千米的井）卤水资源亦不佳。据三台富顺盐厂井务员（相当技术员职称）李朝民介绍，三台富顺地区过去的老井和旧井，一般井深200～300米左右，少数井深400米。因井浅，出现卤淡、量少，卤水奇缺，严重影响盐业生产。为了发展盐业生产，本想从层深部开辟新卤源，以满足制盐工业的需要。于20世纪70年代，请地质钻探部门，在盐区钻了一口新井，钻深达1 354米，结果井里无卤水。其后又在盐区马牙岩新钻了四眼井，井下钻遇“流沙”，结果新井也无用，等于废井。20世纪80年代初，射洪县工盐厂钻了一眼探井——探－8井。孔井深630米，在当地算是深井了。其中在井深120、175及607米等处都发现有黄卤，经试水证实，卤源仍然很不理想。

川北多数地区，不仅浅部地层卤淡、量少，而且在深部地层卤源贫乏。因此，地下卤水资源不丰，客观上限制了卓筒井向地层深部的开拓。当然，在过去食盐紧缺的情况下，川北筒井采用简单机械对浅层卤水，以浅钻、浅采，技术上是可行的，经济上也是合理的，有利可赚。但对于深层贫卤，如深钻、深采，则机械设施必然庞大，耗资多，产量低，成本高，亏损多。因此，一般川北地区深层贫卤钻采经济价值不大。

## 四、卓筒井开凿的“经验型”

由于盐井开凿艰辛，耗资甚巨，“有深井一丈千黄金”② 之说，再加之古代（尤其在川北地区）缺乏地质科学知识，对地下卤水资源的储集、富贫变化规律没有认识及掌握，因此盐场有句俗言：“凿井是吃阳间饭，干阴间事。”即是“成功”与“失败”很难说。如凿井“幸运”成功，则一跃成为富豪；若凿井一旦失败，则造成人力、财力的白白浪费，人们说：“等于黄金掉入井里”②，甚至弄得倾家荡产，于是，凿井有很大的风险性和冒险性。正是在这种情况下，产生了凿井的经验型。据史籍和调查证实，在川盐生产漫长的历史中，“经验型”具有普遍性，

---

① 每斤水的咸量。

② 盐场人习语。其意是说盐井钻凿工程耗资巨大，如清代钻一口盐井，浅井上千，深井上万。或者说盐井钻凿风险很大，一旦钻井落空，一切就附之东流。



但尤以卓筒井开凿“经验型”更为突出。

所谓“经验型”，系指盐场上工作（生产）者的实践经验或祖传经验或借鉴（即模仿）已“见功”盐井经验等，以进行选布新井，确定井深及钻探盐井。这种经验是盐场上工作（生产）者长期与自然作斗争，在开凿盐井中一点一滴积累起来的，因而是十分可贵的。

在川北卓筒井开办中，实践经验和间接经验都起了重要作用。如上已述蓬溪县大英乡的生产工匠，根据多年办井的经验并结合当地的地形地貌特点，选定新井。广水井选定和开凿在低洼处；咸水井选定和打在半坡上，井深70~140米，可钻至卤水层。因此，实践经验和间接经验均对表层淡卤的布井和开发取得较好效果，并起了重要作用。但是，对于深部卤层的布井和钻探，不在于经验和地形地貌特点了，而主要是受地下地质构造和地质条件的控制，要从地质理论上研究、分析及认识卤水的富贫、分布规律，然后才能进行布深井，钻至目的（卤水）层。因此，仅凭实践（局部）经验或借鉴别人经验，则对深层卤水起实际作用不大。

由于川北卓筒井开凿是“经验型”，没有升华到地质科学（或实用）理论，也就不可能认识深部卤水资源生成、运移、富集、变化的规律性。因此，严重影响了卓筒井向纵深的开拓。从宋初（卓筒井和圆刃锉发明于1041—1054年）迄至清末（1911年），先后历时850余年，钻井之多，数以万计。但是，川北无一口井向纵深开拓有重大突破。（尽管地下卤源不丰，但探井亦没有一口上千米的）井深基本上长期停滞在数十丈、百余丈（约100~400米）的钻采水平上。钻井水平长期停滞不前，又是与历代（宋至清）沿袭“经验性”开凿盐井分不开的。

第一，盐井钻凿的水平，反映了“经验型”。我们从盐井“深者数十丈”[22]“盐井……深必十丈以外，乃得卤信”“明代之开井……深四五十丈，或百丈，即得咸”[66]等史载不难看出：川北地区盐井开凿井深“数十丈”“至百余丈得咸水乃止”[67]了。而实际上清代“百余丈”亦是基本接近宋代卓筒井的深度。因此，没有向纵深200丈或300丈发展，由盐井的凿井水平，反映了“经验型”。

第二，以“经验型”钻井，与仅凭经验认识地下卤水层埋深有关。前已述及“盐井……深必十丈以外，乃得卤信”“百余丈得咸水乃止”，一则说明盐井的钻井水平低；二则说明咸水埋深在“十丈以外”至百余丈乃止了，即不向地层深部发展了。因此，以“经验型”开凿盐井，也与凭经验知识地层咸水埋深有关。

第三，卓筒井钻凿的深度，借鉴了大口盐井开凿的经验。众所周知，我国大口盐井创始于战国末，汉获大发展，唐臻于鼎盛，北宋初走向衰落。据唐相李吉甫《元和郡县志》卷三三记载，陵井深“八十丈”，为后来宋代卓筒井模仿钻深“数十丈”，明代“百丈”及清代“百余丈”奠定了基础。“百丈”“百余丈”较陵井深度“八十丈”仅略有增加，没有重大突破，即盐井钻探没有向纵深开拓和发展，仍基本上停留在大口盐井的深度上。为此，“经验型”也束缚了人们向地下深部开拓。

# 参考文献

[1] 李培浩:《中国古代史纲》(下),北京大学出版社,1985 年。
[2] (宋)李焘:《续资治通鉴长编》卷八。
[3]《续资治通鉴长编》卷六。
[4]《续资治通鉴长编》卷三六。
[5]《宋史》卷一八三“食货志”。
[6] 廖迪生:《大宁厂盐业史话》,载《巫溪文史资料》,1983 年第 2 期。
[7]《续资治通鉴长编》卷二七九。
[8]《宋史》卷一八一。
[9] (宋)马端临:《文献通考》卷一五。
[10]《续资治通鉴长编》卷一五八。
[11]《续资治通鉴长编》卷二九。
[12] (清)赵翼:《廿二史劄记》卷二五。成书乾隆六十年(1795 年)。
[13]《欧阳文忠公文集》,卷一〇〇“再论置兵御贼札子”。
[14] 郭正忠:《北宋四川食盐危机考析》,载《中国史研究》,1981 年第 1 期。
[15]《宋史》卷五。
[16]《宋史》卷三二六。
[17]《宋史》卷四九六。
[18]《宋史》卷一。
[19]《续资治通鉴长编》卷一六五。
[20] (晋)常璩:《华阳国志·蜀志》。
[21] 马克思:《机器,自然力和科学的应用》(第 43 页)。
[22] 苏轼:《东坡志林》卷四“蜀盐说”。(《学津讨原》本)又见《苏文忠公全集》卷七三“蜀盐说”。
[23] (南宋)留正等:《皇宋中兴两朝圣政》卷五五。
[24] 自贡盐业历史博物馆考察队钟长永执笔:《川东、北盐业考察报告》,载《盐业史研究》,1986 年第一辑。
[25] 燕羽:《中国古代关于深井钻掘机械的发明》,载《中国盐业史论丛》,中国社会科学出版社,1987 年。
[26] 荆三林:《中国生产工具发展史》,中国展望出版社,1986 年。
[27] (宋)文同:《丹渊集》,卷三四。
[28] (清)《光绪井研志》卷七。
[29] 潘吉星主编:《李约瑟文选集》,第一部分“科学技术史通论”,辽宁科学技术出版社,1986 年。
[30] (明)马骥:《盐井图说》。



[31]（清）《四川盐法志》卷三。
[32] 吴炜等编：《四川盐政史》卷二。
[33] 高汝镕编：《乐盐纂要补遗》第一部分“乐盐问答·告乐人业盐者”。
[34] 陕西省建筑设计院编：《建筑材料手册》，1984 年。
[35]（明）王圻：《续文献通考》卷一九。
[36] 川北大英乡卓筒井盐厂厂长李开林：《古老的民族遗产——川北大英乡宋代卓筒井遗址简介》，1987 年。
[37]（唐）李吉甫：《元和郡县图志》卷三三。
[38]（西晋）张华：《博物志》卷九。
[39]（宋）释文莹：《玉壶清话》卷三。
[40]《陆放翁诗集》卷三。
[41]《续资治通鉴长编》卷二五五。
[42]（宋）李心传：《建炎以来朝野杂记》，“甲集”卷一四。
[43] 李世平：《四川人口史》，第五章“宋元的四川人口”，四川大学出版社，1987 年。
[44] 郭正忠：《关于宋代卓筒井风波的考察——宋代四川盐业资本主义萌芽的发展和夭折》，载《井盐史通讯》，1985 年第 1 期。
[45] 张学君：《论宋代四川盐业与盐政》，载《井盐史通讯》，1983 年第 1 期。
[46] 郭正忠：《论宋代食盐的体制》，载《盐业史研究》，1988 年第 1 期。
[47]《续资治通鉴长编》卷三五七。
[48]（元）李兰肹：《元一统志》卷五（第 57 页）。
[49]《宋史》卷二六六“王化基传”。
[50]《续资治通鉴长编》卷三六九；另见本章参考文献 [5]。
[51]《续资治通鉴长编》卷二八一。
[52]《续资治通鉴长编》卷二七九。
[53]《四川盐法志》卷三二。
[54]《续资治通鉴长编》卷二。
[55]《续资治通鉴长编》卷一四三。
[56]（宋）李心传《建炎以来系年要录》卷五八。
[57]《净德集》卷四“奉使回奏十事状”。
[58] 李福德等：《从历代缉私看川盐缉私》载《盐业史研究》，1995 年第 2 期。
[59]《续资治通鉴长编》卷二五五。
[60]《续资治通鉴长编》卷九十。
[61]（宋）马端临：《文献通考》卷一六。
[62] 李全民：《大英乡卓筒井》，载遂宁市博物馆编：《遂宁文物》，1991 年。
[63]（清）《蓬溪县志》卷八（道光甲辰年重修本）。
[64]《古今图书集成》卷六九二。





[65]《四川盐法志》卷五。
[66]（明）郭子章：《〈盐井图说〉序》。
[67]（清）《蓬溪县志》卷一五。
[68] 温瑞柏：《盐井记》引架长令等编：《皇朝经世文编》卷五〇。
[69] 吴天颖著：《井盐史探微》（第 310～311 页），四川人民出版社，1992 年。



# 第五章
## 明代钻井技术的进展

明代钻井技术，大致可分为两个时期，即明前期和明后期。明前期，川盐生产同全国一样，遭受元末战乱的严重破坏，井灶停废，盐场衰败，为此，井盐业正处于恢复时期，钻井技术与宋、元时期没有新的变化。

明后期，由于社会商品经济的发展及明王朝针对盐政的“积弊”，重新调整和放宽，如鼓励灶户“广开小井”[1]（即卓筒小井），允许余盐自售等新政，于是，川省盐业获得了巨大的发展。同时，钻井技术又在宋、元的奠基上，出现了重大的进展。主要表现在：凿井工具的改进、钻井的程序化、固井技术的进步，修钻井工具和技术的发展，从而为钻井和开发地下赋存的卤水和天然气资源，提供了有力的手段。明代井技术的进展，起到了承上启下的作用。

## 第一节　明代钻采技术进展的社会背景

1386 年，由朱元璋领导的农民起义大军，彻底推翻了元朝的残暴统治，又建立起一个封建专制的政权，即明王朝。

明朝建立后，朱元璋总结了历史经验，为巩固明王朝政权，确保“长治久安”，一方面加强中央集权制，另一方面积极采取各种举措恢复生产和发展社会经济，增加财政收入。明朝中后期，由于生产力的提高，社会分工的扩大，在商品经济的发展和孕育下，少数部门出现了资本主义萌芽。正是在这种社会历史背景下，四川井盐业同样得到了迅速的恢复和发展。特别是明中叶以后，伴随盐政重新的调整和放宽，致使井盐生产有了巨大的发展，于是，钻井技术在宋元的基础上，又有新的进展。

### 一、商品经济的发展及资本主义萌芽

明初封建专制的加强。明朝建立后，实行集权统治，明太祖不设丞相职位，同时将六部的权力扩大，直接受命于皇帝，这一重大政治改革，大大加强了中央集权制。军政事务，由五军都督府和兵部共管。但都督府有管理军队的权力，而无权调动军队，兵部有权力调军队，但不能统帅军队，二者彼此相互牵制，这样，一切军政大权集中在皇帝一人手里。并设立“锦衣卫”特务机构，直接由皇帝指挥，以便镇压人民和监视官吏。在全国广大乡村，建立了“黄册”（即户口册）、“鱼鳞册”（即土地册）及里甲制度，作为向人民征税和征役的依据，强化对人民严厉的控制。明朝仍沿用了科举考试制度，选拔官吏。内容以“四书”“五经”命





题，形式必用“八股文”，不求实际学问，即使做了官，亦是顺从皇帝的奴仆，从而禁锢了人们的思想。如此等等，明王朝封建专制的统治，已达到了空前的程度[2]。

明初，朱元璋加强了中央集权制，实行封建专制，而同时积极采取一些有利于发展生产的政策。由于元朝的残酷统治和元末长期战争的破坏，全国已是一片荒芜，社会残破，哀鸿遍野，饿殍满路，人烟断稀。明太祖针对社会经济的崩溃和人口的锐减，便采取了一系列举措，以发展社会生产和恢复经济。首先在农业方面：听民垦荒，以为永业，免赋三年。实行屯田，分军屯、民屯和商屯三种情况。大兴水利，乘农闲修治河、渠、塘、堰。农垦、水利的发展，粮食产量有较大的增长，如洪武十八年（1385 年），全国税粮为 2 800 余万石，到洪武二十六年（1393 年），增至 3200 万石。在发展粮食生产的同时，还积极培植和发展农副业，以辅助农业的发展。明初规定：凡农民有田 5 ~ 10 亩者，必须栽种桑、麻、棉各半。十亩以上者按比例加倍，于是，棉花在全国许多省区普遍种植起来。其次，手工业者地位有了改善。明政府下令，改革了工匠服役制度，缩短服役时间；除定期服役时间外，可以自由从事生产劳动，把产品投入市场销售。轮班匠还可纳银代役，这些规定，改变了元朝手工业奴隶身份，因此，劳动积极性有了提高，手工业亦逐渐兴起。再次，减轻商税。一般是“三十税一”。有些商品如书籍、农具等之类，全部免税。朱元璋严惩贪污和抑制豪强，虽是为了巩固集权统治，树立个人权威出发的，但在客观上对发展社会经济和对民众都有一定的好处。这些措施，取得了显著成效，使明初的农业、手工业、商业、交通等方面都获得了迅速的恢复和发展[2]。

16 世纪初，商品经济有了空前的发展。明万历九年（1581 年），对田赋进行了重大改革，向全国推行“一条鞭法”——即在丈量土地的基础上，把原有的田赋、徭役等杂税，合并起来为一条按田亩多少征银[3]。这种办法，以税折银或用银代役的形式，不仅对人身控制有所松弛，而且促进了商品经济的发展。

明朝中后期，农业生产水平在明初的基础上，又有很大的发展。由民谚“苏杭熟，天下足”，而变称“湖广熟，天下足”[2]。这表明，高产粮区在不断扩大。在手工业方面，如纺织、冶炼、造船、瓷器等都超过了前代水平。广东佛山的冶铁、景德镇的瓷器、松江的布、魏塘的纱，都很有名[2]。

随着农业、手工业生产的提高，商品经济有了较大的发展。棉花、蚕丝、绸缎、棉布、瓷器、冶铁、粮食等大量投入市场，作为交易的商品。全国除北京、南京等大城市之外，还出现了 30 多个较大的工商业城镇。如苏杭的纺织业，松江的棉织业、广东佛山的冶铁业、景德镇的制瓷业、成都的茶市等。商品经济的发展，商人数量的增加，出现了“拥有资本达十万两乃至百万两以上的大商人”[2]。如有的商人在湖州买丝，至芜湖染色，然后带到福州织造，商业资本就起着积极的作用，标志着商品经济的进一步发展[2]。

明中后期，在商品经济比较发达的地方，资本主义因素萌芽开始出现。如在苏州，丝织非常繁荣，有些以织绸业为生的机户（即富裕的机户），购置织机 20 ~ 40 台，雇用机工数十人，从事工场生产。在苏州城里有数千机工，为机户雇用，



“计日受值”[4]，长年以“趁织为活”，“得业则生，失业则死”。这种“机户出资，机工出力”[2]，雇佣与被雇佣的隶属关系，即资本主义性质的生产关系，出现了资本主义的萌芽。当然，早期资本主义生产关系还处于萌芽状态，发展缓慢。

**二、明初盐政的整顿及井盐业的复兴**

明朝洪武四年（1371 年），朱元璋统一四川后，便雄心勃勃地着手整顿盐政，实行新法。针对元末因租税过重和受战争的严重破坏，井灶凋零，灶丁逃亡，人口锐减，土地荒芜等情景，明王朝对四川井盐生产相应采取了一系列扶植和保护政策。

第一，改善灶户身份。朱元璋领导的元末农民大起义，彻底摧毁了元朝落后野蛮的统治后，奴婢、驱丁获得了人身自由。新建立的明王朝虽然仍沿袭元制，但把煎盐手工业者编入灶籍，地位有了显著提高。他们向政府只缴纳封建地租性质的盐课，余盐也全部售给官府，以二百斤为一引，官给米一石，不再无偿交付。明政府还“优免”杂泛差役[5]，同时，提高灶户的待遇。明洪武十七年（1384 年），优恤灶户，规定合理的煮盐工本钞额：“岁办盐每引四百斤，官给灶户工本米一石，置仓于场，岁拨附近州县仓储及兑军余米以待给。后改给钱钞，以米价为准”[5]。第二，广招劳工，补足灶户。明初，四川煎盐劳力十分缺乏，除将熬盐手工业者列入灶户外，还大量使用囚徒煎盐：“灶户杂犯死罪以上，止予杖，计日煎盐以赎罪”[5]。其灶户的构成和来源有四种情况：首先，元代遗留下来的灶户，为部分人在元末重课及战争的影响下，“多数逃窜”，到明初为数甚少。其次，产盐区附近居住的民户，被官府强迫列入灶户籍。洪武二十六年（1393 年）令定：“灶丁、令勘实，以附近人户拔补”[6]。再次，外籍的流民，至盐场充当灶夫；还有，山区的“中产之家”，他们“合众家之力，攒百两之金”[7]，凿井煎制，这些是灶户的新来源。第三，设立盐政管理机构，扶持盐业生产。于洪武五年（1372 年），在四川局部地区建立起来，到洪武二十年（1387 年），在四川主要产盐区，设立 15 个盐课提举司，共辖盐 51 处。同时，明初在主要产盐区，对灶户进行调查清理，“分为等则”“验其（灶户）丁产之多寡，随其地利之有无，官田、草场、除额免课；新卤得宜约量增额，分为等则，逐一详定。”[5]按灶户财产的多寡合理交纳课额。第四，起复旧井，增开新井。元末战乱，井灶多闭，据洪武五年（1372 年）统计，全省有盐井 1 456 眼，但因战争严重影响，实煎盐者仅为 380 余眼，停闭达 1 076 眼，占总井数的 73%。为此，明政府积极采取措施，恢复旧井生产，同时增开新井，“今新增盐井，多在溪涧”，山区民众“相地凿井”[8]。据《明清四川井盐史稿》[9]述道：明初有大量新井钻成投产：洪武二十九年（1396 年），南部县开大成井；三十一年（1398 年），仁寿县开益兴井，南部县开莲花池盐井，内江开虎跳，尹家盐井；永乐元年（1403 年），井研县大罗片开竹筒小井，夹江县小溪土坡滩开十二井；永乐二年（1404 年），犍为县开福泉、保通二井；永乐四年（1406 年），简州资阳乡开竹筒井；永乐六年（1408 年），犍为县开四井；永乐八年（1410 年），中江县金佛开竹筒小井，内江县大通溪开小皮袋井；永乐九年（1411 年），盐亭县开古迹等井。仁寿县开观音井，等等。第五，严禁私盐。明王朝为保障财政收入，盐法严酷。明初律令：“各场灶丁除正额盐外，将余盐夹带





出场及货卖者绞。百夫长知情容纵，通同货卖者同罪，两邻知而不首者杖一百，充军。守御官吏巡获私盐，犯人绞，有军器者斩，盐货、车胎、马匹没官。常人捉获者，尝银一十两，仍追究是何场分所卖，依律处断。”[5]同时，贩商领到盐后，只能在划定地区销售，不得自由贩运贩卖，并规定：“凡客商兴贩盐货，不许盐引相离，违者，同私盐追断。”[1]明王朝的盐政基本上沿袭宋元以来召商输粟于边，以济军粮的开中制，即所谓“开中”法[10]。这种制度，对于明政府“专以备边”，保障边储有重要意义。前人认为：“朝中暮支，价平息倍，商乐转输，边免飞辀，士跑马腾，缓急有备，策至良也。”[5]“兵卒就地受粟，无和籴之扰，无侵鱼之弊。”[11]为此，对军需、民便都有利。但由于“山路险远，难于转输，且米数重，故中纳者少，以故两卫军储不给。”[12]输粟至边，旅途遥远，崎岖路险，道难行不仅影响边储，而且弄得商贩也疲惫不堪。但这些政策对于明初四川井盐业较快的复兴起到积极作用。洪武在位时的30年间（1368—1398），有盐井278眼。岁办盐额，洪武初年为10 127 440斤（折5 064吨），到洪武中期增至16 059 930斤（折8 030吨），比之于元，增加三倍多。可见，明初四川井盐生产恢复和发展之快。

## 三、明后期盐政重新调整和放宽

根据明代的社会背景，四川井盐的生产和发展主要分为两个时期——明前期和明后期。明前期，四川井盐生产同全国一样，受元末战乱的严重影响，井灶停废，盐场残破，所以，盐业生产主要处于恢复时期，钻井技术与宋元时期没有新的变化。到明中叶以后，明政府针对盐政的弊病，重新调整和改革，使井盐生产有了较大的发展，于是，钻井、打捞、采卤等技术，继宋代钻井术发明之后，又获得了新的进展，从而为地下深部卤气资源的钻采创造了有利条件。

### （一）盐政重新调整的原因——盐课繁重、激起灶夫的反抗

明王朝推行“开中”制，整顿盐业，发展生产、强制税收，是为了“给边粮饷，而水旱凶荒，亦时藉以赈民”。但主要还是为政治、军事服务，“盐法之设，专以备边”。[5]明初实行的“开中制”，按照年份之远近，场份之高下，盐课之多寡，盐商之姓名籍贯等都有详细登记。但到明中后期，由于盐法日坏，政策多变，朝令夕改，商贾与官吏相互勾结，营私舞弊。如皇室、宦官、重臣等人，强行占有盐引多者达“数千引；次者，一二千引”[13]。还有：税监横行，大肆搜刮：“盖自税监榷税，每引票一道，增银五两一钱五分，则二十年来，通得增引四十余万矣。夫正税六两三钱，而监税又五两一钱五分，商民出本既倍，则取息亦倍，安得还大包夹带，则一引可当二三引矣。”商人以“一引可当二三引”之盐，这与皇亲国戚及朝内重臣奏讨盐引，加之奸商串同衙门官吏，打筑大包，以一夹十，大量贩私（盐）牟取暴利而造成的[14]。因此，官吏的腐败，官商“串同”舞弊，“开中”制受到了破坏，“四川地方，此法久废”。同时，明王朝统治者，巧立名目，千方百计在盐上打主意，手段不断翻新，无休息的征敛，苛政猛于虎。于正课之外，另设加增盐、埋没盐、添办盐、增羡盐。加课之中，干赔犹如苛暴，即井盐废弃以后，照样纳课，若灶丁逃亡，则摊派田粮中征收。如安岳县“朱福庙泉灶籍井眼，俱于正德年间塌废，只有灶丁陈万先，曹万荣、陈绍明等，每年干赔课银三百二十四两”[15]。苛税繁重，灶丁难以纳税——“盐课溢额，民甚病



之”，“灶民课重难完”，“屡年盐课拖久，终无完局”、“国课有损，年复一年，不得纳完”[16]，等等。为了如数完成盐课，明王朝强令官吏追收：“正德二年，令云南、四川盐井官吏，各井盐课务要逐年完成，一年不完者，革去冠带住俸；三年俱不不完者，本衙门递降一级，吏革役为民；受财作弊者，以枉法从重论”[17]。官吏催逼灶户，强行征课。规定：“年终不纳齐足者，以十分为率，一分笞四十，每一分加一等罪。”[18]于是，灶户、灶丁纷纷逃亡，有的削发为僧，成化年间，全国僧数多达50余万，有不少是灶户，“军民匠灶，自报剃秃而隐于寺观者，又不知其几。”[19]这时，川东大宁盐场灶夫衣食不足，哪有纳得起繁重的银课，眼看到期欠课，既受高利率的盘剥，又遭加罪严刑拷打，灶夫生存面临绝境，忍无可忍，于是，在明正德初，由鄢本恕、廖惠、蓝廷瑞等灶夫领导和组织武装起义，反抗明王朝残暴的统治和繁重的盐课。

鄢本恕，营山县人[20]。廖惠，外号廖麻子，邻水县人[21]。蓝廷瑞，营山县人[21]。他们都是在孝宗弘治年间，因水旱灾荒严重，被迫背井离乡，作为流民到大宁盐场充当灶夫的，正德三年（1508年），鄢、廖等率领千余灶夫先等待，当湖广生员崔逢头，施州卫军人张瑞、王虎等暴动民众80人到大宁时，他们即正式组织武装起义。鄢本恕自称“刮地王”，廖惠自称“扫地王”，蓝廷瑞自称“顺天王”。军部下设四十八总管，建立军队组织。他们率领起义军，先后辗转陕南、湖广、四川等地广泛开展活动。起义军艰苦奋斗，英勇善战，多次打败官军的进攻和围剿。杀死了明朝地方高级军官都指挥、兵备副使等多人，给敌军以沉重打击。参加起义的人风起云涌，正德四年，“众至十万”。正德六年四月，湖广永顺土司彭世麟率领士兵在陕西石泉县把义军包围，趁机招降蓝廷瑞，并与“约为婚姻”[21]，蓝被骗，同意到东乡（今宣汉）金宝寺“受抚”。六月十四日，义军到达指定地点，明官兵分七哨扼之。十六日，蓝、鄢等首领28人赴宴会，中伏被擒，全遭“凌迟处死”。

廖惠、喻思俸拒不赴宴，留守大营，得知蓝、鄢等首领受抚赴宴中计被俘时，立即率军奋战，突围北走。正德七年八月，廖惠“聚众至二十万人”，自合州渡江，攻克铜梁、荣昌、乐至、中江、金堂等多县，杀死了明都指挥许凤、西安卫指挥殷辅等十四人，“两川大震”。明统治者惊恐万状，急忙以调动精锐大军进行“镇压”和“会剿”。正德八年，廖惠在汉州平坝与官军接战失败，退至剑州青林口，被边军杀害。喻思俸率余部在川、陕边界进行一系列战斗，损耗极重，仅剩一百余人，最后被时源围困，逾走西乡竹木沟、以伤重死，义军数十人全部壮烈牺牲[22]，于是，这次大宁盐场灶夫率领的武装大起义，在明统治者的血腥镇压下终于失败了。

（二）明后期盐政重新的调整和放宽

在明王朝重税的逼迫下，灶户大量逃亡，“走为上计”，井灶停废，官府无法征税，致使课额亏空。川东大宁盐场灶夫在走投无路时，“逼上梁山”——组织武装起义，反抗明王朝的暴政和重课。在我国封建社会中，农民大小起义层出不穷，但在中国井盐史上，灶夫起义实属罕见。这次起义，其实质是英宗、宪宗时期荆襄流民起义的继续和发展。同时，又为明末张献忠起义和清中期川、鄂、陕白莲

教大起义开创了先驱。所以，在中国历史及盐业史上，都具有重大的作用及深远的意义。总之，灶户的逃走和灶夫的起义，无论在政治上或经济上都对明统治者以重大的打击。因此，明王朝不得不采取缓和阶级矛盾的措施，针对盐政的积弊，重新进行调整和放宽，减轻盐课，放松对小井开凿的限制，于是，四川井盐业出现了引人注目的新变化。

1．盐政的调整和放宽

明嘉靖十五年（1536 年），巡抚潘鉴提出对四川各类盐井现状进行彻底清查，“有咸者照旧纳课，其淡薄者量减分数，枯涸崩塞及无井者，即与除豁。势豪包占者，革正还灶户，……勿使良善无辜虚赔。”[7]又嘉靖三十年至三十三年（1515—1554），熊过在《答李令论税粮驿传盐策册籍四事书》时，对四川富顺地区的盐业生产，井课征收及盐政等都有明确的记述：“富义等井坍塌，新开自流等井课，可抵旧井，坍塌虚赔者，按规定除免，即新井盐课，自可兑补原额。无井灶丁，自可径免虚赔。不设‘别为加增、埋没、添办、增羡之名’。”同时又说：“今民力所凿（盐井）、以赔补旧额，……若官收盐引之利，则灶丁自应减税。”[23]熊过从实际出发，对当时的盐政做了较大调整。一是无井灶丁，自可免除虚赔；二是新井盐课，可抵旧井课额；三是取消各种杂课之名、减轻灶户负担。明隆庆二年（1568 年），礼部给事何起鸣关于四川茶盐二事建议：“川中盐场，旧定上、中、下三则纳税、迩来井竭户逃。旧者有贩纳之累，新者有增课之忧。宜酌出产厚薄，以定课额，招集灶丁，广开小井，以补旧数。”[5]到明万历年间，盐课副使杜诗主张：对新井和旧井三年调查一次，并“造册申报，以凭衰益施行，庶罢民少甦赔苦”。同时又提出“豁绝丁以矜灶户之苦，广开小井，以补老井之缺”[24]。明统治者，实施这些政策，对于明后期四川井盐生产，在前期的基础上继续发展和兴盛，显然是起了很重要的作用。

2．以引定银，减轻盐课

明嘉靖三十七年（1558 年），四川地方官吏整顿盐法，按盐井实际岁办盐引的多寡，即以定课。共计五十七州县，一所一场，取消上场折银二两，各场分三等，上场每引折银一两五钱，中、下场递减。其润课（原闰月年份闰月中增加的盐课），原非部额，逋负尚多，各场暂免派征[1]。明神宗万历三年（1575 年），又减旧额为 23 942 两，岁征银 47 531 万两。并对灶丁起义的川东大宁盐场，给予照顾优待：“灶丁止令办纳原课，其逃民私煎加增之数，另外召人并各余丁顶补，毋致负累人难。”[1]这些新的措施，在一定程度上减轻了灶夫盐课的负担。

3．余盐开禁，放松对灶户人身的限制

明初，严禁灶户贩卖余盐，如将余盐夹带出场或私卖者，处以绞刑。余盐只能卖给官府，凡二百斤，给米一石。明成化时期（1465—1487）规定：“各商派定场分，……若无见盐，只许本场买扑。”[1]所谓“买扑”，即商贩可直接购买灶户的余盐。明弘治二年（1489 年）政令：“凡商无盐支给，听其买勤灶之盐。”[25]取消“本卖买扑”的限制，准许越场购买，政策进一步放宽。明正德五年法定：“凡余盐，令上、中场分灶户所煎盐斤，除彀（扣）本场正课外，多余之家，许缺盐场分灶户自相贸易。”[1]嘉靖三年（1524 年），政策再放宽：“各灶丁除办正课外，余



积之数，听卖有引商人，纳银解部。”明万历年间（1573—1620）推行“票盐”制。灶户完成额盐折银后，官府发票灶户凭票纳课，可以在指定的地区自由出卖余盐：“灶丁卖余盐，自计之。”[23]

余盐开禁，官府放宽对灶户人身的限制，有更多的支配产品的自由。因而，刺激了灶户的生产积极性，促进了井盐业的发展，为钻井技术的进展创造了条件。

4. 鼓励灶户“广开小井”

明代前期，井“深至六七十丈，浅者三四十丈”[21]。按钻采工艺不同，又分大井和小井两种。大井技术落后，凿井之甚难，入井之甚深，汲之甚苦[26]。而且井老水涸，或“致倒塌”皆为弃井，因而灶户欠课严重。小井工艺先进，设机采汲，“力逸而功倍”[27]。但小井开凿之后，地方官吏往往“另征课，或又重征其私井课”。因此，灶户不愿开小井，“负课而前逃、即开者往往填塞而寝阁。”[28]由于灶户的前逃和斗争，明统治者不得不放松对小井开凿的限制，准许灶户开新井补亏课，“古山泽之利，与民共之，谓不烦人工者也。今民力所凿（盐井），以赔补旧额。”[23]明嘉靖时，巡抚潘鉴已提出“民户私井者，征报常课”[7]。隆庆二年（1568年），准许灶丁多开小井，以补塌井逃丁之数，不再增加（盐课）[1]。同年又规定：“广开小井，以补旧数。”[1]万历三年（1575年），蜀省巡抚都御史曾省吾“严令各州县将新开小井，逐一报官收课”[24]。万历年间，四川井研县“清察老井二十眼，……又于续开邦纳之，小井亦课银二百三十两三钱十分，谓之新井”[29]。四川盐井进行统一清理，新开小井报官纳课，实际上从法律上确定了新井的合法地位。因此，明后期小井采汲煎制盛行，大井“皆淹没殆尽”[30]。

综上所述，明中叶以后，由于明王朝盐政的放宽，灶户地位的提高，小井（私井）的增多，课税的减轻，于是，四川井盐生产继宋代以后，又达到了一个新的阶段，从而为钻井技术的进展起了积极的作用。

## 第二节 明代钻治井工具的改进

钻治井工具，于宋代发明，至明代有了重大的改进及新的发展。按其功能用途和钻治工艺的不同，共分五大类计15种，为便于清楚了解，本节分“凿井钻头的改进”及“奇巧的修治井工具”两大部分进行叙述。

### 一、明代凿井钻头的改进

北宋初“圜刃”锉的发明，标志着由大口井向小口井的大变革，创制了世界上第一代深井钻头，但是，圜刃锉从北宋庆历皇祐年间（1041—1053）发明，至明万历年间（1573—1619）已基本完成它的历史使命，逐渐被淘汰（但有的地方延续至清初和清末），沿用了500余年，最后被以铁钎为代表的第二代钻头所取代。

以“铁钎”为代表的新式钻头的出现，绝非偶然。随着明王朝的建立和社会秩序的稳定，经济得到较快的恢复和发展，农业和手工业发展到了一个新的高度，如冶金、金属、丝绸等都居世界前列。在井盐行业，自景泰年间出现极盛以后，卤水感到不足，至万历年间更为突出，因此，亟待开辟新的卤源，向地层深部开



拓。同时，盐井的加深，深井结构随之而变化，所以，凿井钻头有了相应的改进。

明后期的凿井钻头，马骥撰《盐井图说》命名为“铁钎”，宋应星著《天工开物》称之为“铁锥”。

（一）“铁锥”钻头略考

宋应星，字长庚，江西省奉新县人，中过举人，累次考进士不及第，年近半百（47岁）才做分宜县教谕（管教育的小官），生平未至四川。关于“铁锥”钻头形制，他在《天工开物》（第五卷“井盐”）中写道：“其器冶铁锥，如碓嘴形，其尖使极刚利，向山石舂凿成孔。”所谓“孔”，即“钻孔”，系指凿成的盐井。

“铁锥”是凿井钻头。但单就“锥”来讲，是多种手工工具的统称，其功用不同，形状也不同，明宋应星在《天工开物》（第十卷“锤锻）中明确述道：“凡锥，熟铁锤成，不入钢和。治书篇之类用圆钻；攻皮革用扁钻；梓人（即木匠）转索通眼，引钉合木者，用蛇头钻。其制颖上二分许，一面圆，二面剜入，傍起两棱，以便转索。治铜叶用鸡心钻。其通身三棱者，名旋钻。通身四方而末锐者，名打钻。”由此，“锥”的形状有：治书用的圆钻，即圆锥；攻皮革用的扁钻，即扁锥；木匠用的蛇头钻，即棱锥，其中又分“两棱”“三棱”“四棱”锥。关于凿井钻头——“铁锥”的形状，宋应星做了很形象的描述：“如碓嘴形”，而且“其尖使极刚利，向山石舂凿成孔”。为使其直观地了解“铁锥”的形状，他特绘有“凿井图”一幅（见图5－1）。




**图5－1　凿井“铁锥”钻头**

**采自：宋应星《天工开物·作咸》**

从图中可看出，“铁锥”上圆下尖，呈楔形，如毛笔状，针矢形，又似修治套管变形时用的“胀管器”。文字的叙述和图像是一致的。这种“其尖”又“极刚”的钻头怎么能凿井？古人云：“坚则毁，锐则挫，金刚则折，革刚则裂。”[31]凿井钻头不应是尖形，因为尖形钻头不仅容易折断，而且不易破碎井底岩石。在传统井盐凿井中，尖形工具属于辅助打捞工具（如四楞子锉）或修治井工具（如胀管器），一般多用于下列情况[32]：一是导向，俗称开槽眼，又名引路；二是胀管（即修治套管），无论古代盐井木竹（或木柱）套管变形，或是在现代盐井、石油及天然气井套管变形都适用；三是扩眼，在钻井中，由于发生井斜或因井壁不光滑，或因长期生产井壁长有垢物等，用既尖又圆的工具进行扩眼。由此，宋应星文述加图像的尖形凿井钻头——“铁锥”有误，这与他生平未至四川亲临凿井有关。尽管如此，但是《天工开物》（第五卷“井盐”）中，有关“海水盐、池盐、井盐、末盐、岩盐”遗存下来的丰富史料都很珍贵，为我们今天研讨明代盐业的



发展提供了重要依据。

宋应星对凿井钻头称“铁锥”，在史志及各家名著中亦沿用了这一名称。据李元《陵州图经》“明代盐井”注释：“明代年间之开井，初铲青土，得石凿如臼，绞篾缆百余丈，缀铁椎（锥），稍（梢）如杵，高架，力者坐踏捧（捣）石屑。”“邑之盐井多在山麓，淘（误，应凿）井之法，择有咸源处，以‘铁锥’凿井。”当大窍（大孔）井段凿完，下入竹套管固井后：“扣定隔竹，以竹枝系‘铁锥’人隔竹中凿之。”[33]直止小孔（井眼）凿毕，达到卤水层，铁锥凿井告成。这些史志记载虽然可贵，但十分遗憾的是没有确切记录它的形制和规格。

《机井技术》写道：“井锥①，是穿凿地层钻井的主要工具。……锥体分锥头、锥身和锥把三部分。锥把上端有牙扣，其扣起连接作用。为了掉锥时便于打捞，在锥把上加一个半圆铁环。”又说：“实锥（属井锥的一种钻头）：专为穿凿石层和硬地层用……重量百千克左右。一般为平头，为了便于穿凿硬层，可将锥头做成斧形”。[34]

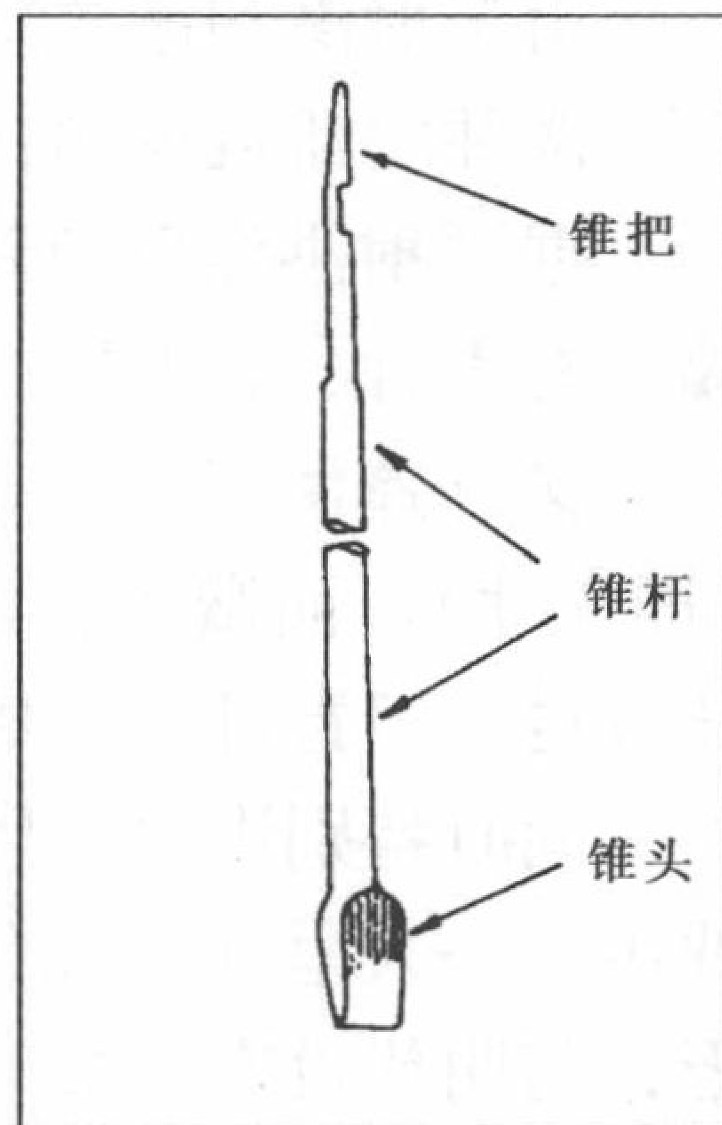



图5－2　斧形“实锥”钻头
采自：河北革命委员会水利局机井组编：《机井技术》第二章“人工架打井”

实锥又称斧锥（各地命名不一，见图5－2），为井锥的一种基本形状，它是一种水文钻头。开凿盐井的钻头称“铁锥”。打水（淡水）井的钻头名“井锥”。盐水、淡水同为液体，用钻头开凿，从工具制作、井身结构上来看，是大同小异的。因此，从井锥的原始形状，可知铁锥的大致形状。

从图上可见，这种钻具仍沿袭和保持了古老的形状，整个锥体的结构与盐井钻具相似，分三大部分：上部——锥把，呈“凹”字形，用以直接与竹篾连接，（不用转槽子之类），亦相当于井盐钻具云头部分；中部——锥杆，相当于井盐工具的圆杆部分；下部——锥头，相当于井盐工具的钻头部分。

宋应星《天工开物》记载的“铁锥”，不应是笔尖形的钻头，而应是斧刃形的钻头，亦即是扁刃形的钻头。明代马骥著《盐井图说》的“铁钎”，对此进一步证实。

(二）铁钎钻头的形制和功能

铁钎钻头是由“圜刃”钻头演进而来的。关于“铁钎”钻头的形制、规格、功能等，马骥的《盐井图说》中有记载。

马骥是明代嘉靖、万历年间四川射洪士人，曾中过举人，万历初任射洪知县[35]。邀友人郭子章、岳谕方等对射洪井盐生产进行了实地调查，并“三问灶丁、井匠，颇得其详”[36]。根据调查结果，由岳谕方绘制“盐井图”，马骥写《盐井图说》，郭子章撰《〈盐井图说〉序》。其中“图”又佚，《图说》和“序”流传至今[37]，对井盐生产，尤以凿井、修治井工具及工艺记载翔实，弥补了宋应星《天

① 引自《机井技术》第二章“人工架打井”。即“人工架也称人力弓式冲击锥。它是借助木弓或竹弓的弹力和人力使锥头冲击地层而钻井的”。因此打井方法较原始，所用工具（如井锥、实锥）亦古老。

工开物》记载的不足。关于凿井工具，他在《盐井图说》中叙述，盐井位置选定后，接着就开井口，立石圈（用石砌成地下浅层石套管），然后开始用钻井工具凿井。“凿大、小窍焉。大窍，大铁钎主之；小窍，小铁钎主之。钎一也，大钎则有钎头，扁竟七寸，有轮锋，利穿凿。”

由上得知：其一，铁钎是总称，其中分大铁钎和小铁钎，其功能大铁钎凿大窍，小铁钎凿小窍；其二，大钎头呈扁形，且扁竟（径）7 寸，而小钎头没有直接说，但从大铁钎间接可知，小钎头亦呈扁形，扁径约为 3.5 ~4 寸；其三，钎头末有轮锋（刃口），因此利于穿凿。

由于射洪和蓬溪地处川北，两地毗邻，曾合为一厂，称射蓬盐厂，旧名华池厂。凿井之器盖承明代大铁钎和小铁钎，这在碑文和史志中记载颇多。

据《射洪洋溪镇新建盐神庙碑》中明确记载：“穿井之器，有机、有绠、有井礌、有木竹、有大钎、有小钎。”[37]

又《蓬溪续志》（卷一）云：“钎也……大凿锻，铁为之，广六寸，厚半之（即 3 寸）。而微条，四方整齐，皆中起棱。而旁微削重七、八十斛。入井口中以任春也，曰舂钎，长倍寻重六钧，连凿之柄也。”

同时特别讲道，用扁凿，通过人转碓（即转钎），则凿成圆井，“一人居之以践碓，一人坐井口以转钎……一践一转，故凿扁而井圆也。”清代铁钎钻头呈扁形，与明代没有明显变化。在钻具上部云头有改进，不是钩形，而是方形了，直接与竹把相连，把手再与篾相接。

据《蓬溪续志》（卷一）载：“入井器，皆以斑竹火烤，使勒器破其上，篾其中而下扎于柄，谓之把（手）。”宋（包括元）→明→清（限川北地区）钻头，见表 5－1。

**表 5－1　川北地区宋至清凿井钻头**

| 朝代 | 工具名称 | 形制及特点 | 规格直径（寸） | 功能 | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| 北宋皇祐年间（1041—1053） | 大圆刃锉<br>小圆刃锉 | 圆刃，有刃锋 | 5 ~6<br>2.5 ~3 | 凿大窍<br>凿小窍 | 苏轼：“蜀盐说” |
| 明代万历年前后（1573—1619） | 大铁钎<br>小铁钎 | 扁形，有轮锋 | 7<br>3.5 ~4 | 凿大窍<br>凿小窍 | 马骥：《盐井图说》 |
| 崇祯十年（1637） | 大铁锥<br>小铁锥 | 斧形，有斧口 | 7<br>3.5 ~4 | 凿大窍<br>凿小窍 | 宋应星《天工开物》卷五 |
| 清代光绪十年（1884） | 大铁钎<br>小铁钎 | 扁形，有刀棱 | 6<br>约 3 | 凿大窍<br>凿小窍 | 《射洪县志》“射洪洋溪镇新建盐神庙碑”记。 |

（本表出处，见表“资料来源”）

从上表中可以看出，北宋初圆刃锉的发明，标志着由大口井向小口井的重大



演井。圆刃锉是世界上第一代深井钻头，至明代万历年间（1573—1619）完成了它的历史使命，开始被淘汰，由第二代新式钻头铁钎所取代。铁钎这类新式钻头是在“圆刃”锉头基础上加以改进而制作的，因之，它的形制不再是圆形了，而是由圆形改制为扁形，从“圆”形到“扁”形的变化，不仅只是形制上的变化，而且反映了钻头本质上的演进和发展，这是“铁钎”和“圆刃”的根本区别，此其一；其二，铁钎钻头在规格上较圆刃锉有所增大，钻头规格的增大，恰恰又反映了钻井技术和凿井工艺向着更高级的阶段发展。

## 二、奇巧的修治井工具

明代后期，随着凿井钻头的重大改进，盐井的加深，钻井工艺的新发展，相伴而来的是井下事故便越来越频繁，修井技术亦更为复杂。因而为适应和满足井下工程的需要，打捞和淘井技术亦获得了巨大的进步，出现以“铁五爪”为代表的打捞工具，以“搜子”为代表的淘井工具，为解除井下事故，淘取井内各类杂物，做到井下畅通，为确保迅速凿井和盐井正常生产创造了条件。

明代后期的井下工具，从凿井、打捞到淘井的工具，种类基本齐全，制作巧妙，在井下复杂变化多端的情况下，可发挥奇特的功能，进行有效的处理。“其出法亦巧，而为器亦异。”[36]工具的发展，达到了新的水平。其工具分类如下：一是凿井钻头，有铁钎（分大铁钎和小铁钎）和铁锥（分大铁锥和小铁锥）；二是连接工具，有撞子钎（雏形挺子）、竹把手；三是打捞工具，有铁五爪、搅镰[36]；四是淘井工具，有搜子、漕钎、刮筒、泥筒；五是推水工具，有推筒（与泥筒制作原理同）、火掌篾。以上井下工具分五大类计15种。在修治井工具中，尤以打捞工具铁五爪搅镰及淘井工具搜子制作甚巧，功能奇特。

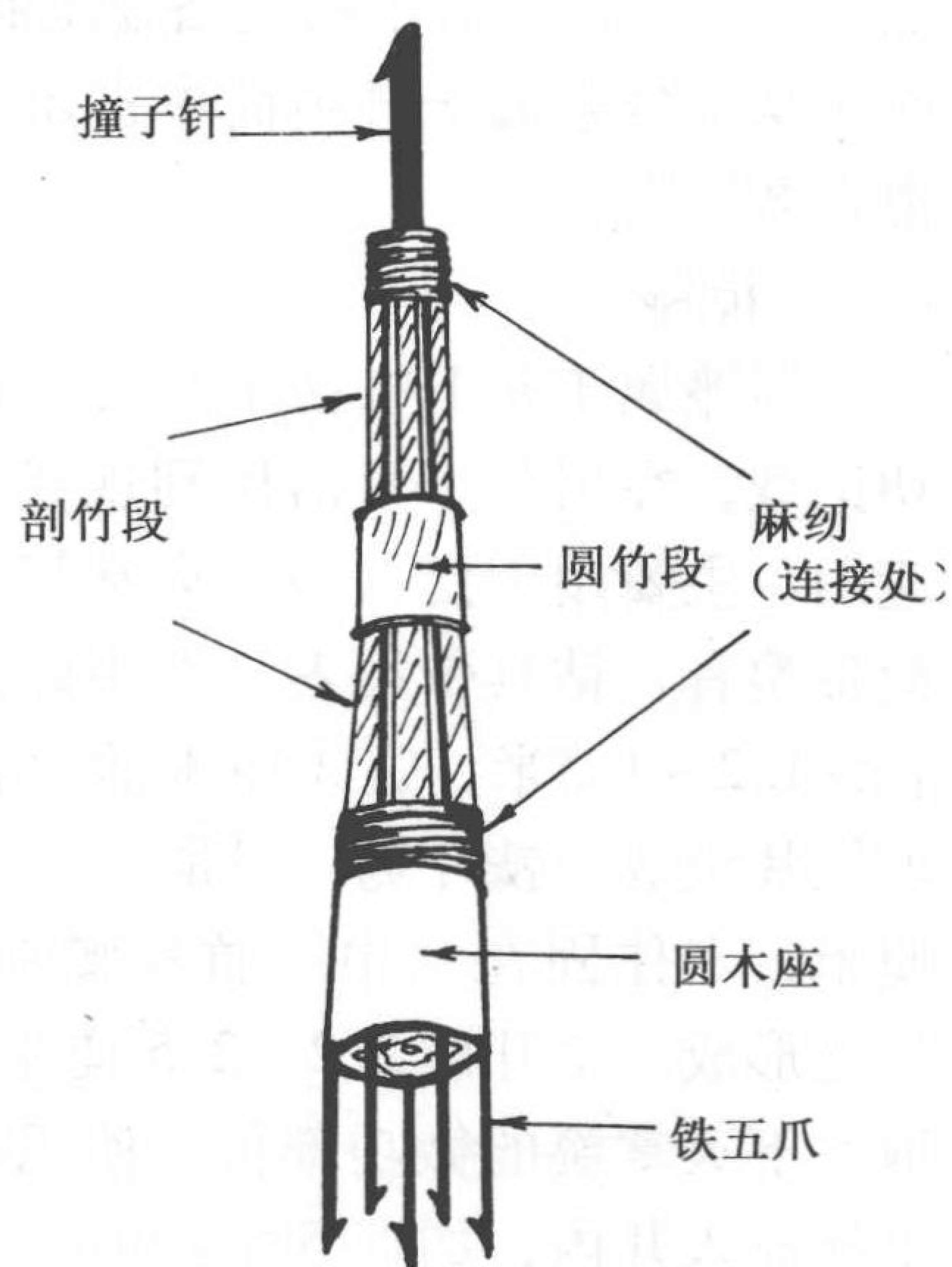



图5－3　铁五爪的形制和结构

据马骥《盐井图说》记载及自贡盐业史馆陈列“模型”绘图

### （一）铁五爪——井匠仿人的手掌五指设计制成的打捞工具

铁五爪是我国先民在长期从事井盐生产实践中研制出来的。因此，生产工具“以其劳动诸形式、模式及姿态作为基础，扩大创造出的原始工具，如从拳的模式创造了石锤，以手掌横劈的模式创造石刀之类。为加大锤的力量，便模仿手臂而加上柄，使锤与柄（杠杆）构成复合工具而加大劳动率”[38]。这里，是说原始工具的制作和产生由来。而“铁五爪”是铁制，从材质、精巧、功能及作用上来看，当然比原始的石制工具更先进，但其制作原理也是根据人手五指的活动功能而发明的，其形“如覆手状”[36]，（见图5－3）。

“铁五爪，如覆手状，爪背入木数寸。以竹三尺（折93.3厘米）许，劈碎一尺，缠扼爪木，令坚致；上一尺，……亦劈碎，则活系撞了钎，不令拘泥偏向；

中一尺，通其节，以待撞子钎，假道挞伐。”[36]由此可知，铁五爪由四部分组成。一是撞子钎，为一长条形，上端有云头（钩形），与竹篾相接，下端一圆球，与竹（竹把）活连，打捞向下锤击，起加压的作用，俗曰“冲下蛋门”。如偶遇卡，又可向上挞击，有解卡的作用，俗曰“挺上蛋门”。它的功能与清代挺子相似，亦是现代顿钻活环的前身。二是竹（即雏形的把手），长三尺许，分上、中、下三段各一尺，其上，劈碎与撞子钎活连，下亦劈碎与木座缠扼，竹中通节，以便撞子钎上下来回运动。“不会拘泥偏向”，（即可导正方向），等于把手的竹泡部分，因此，马骥称的“竹三尺许”，实际上与竹把手功用似同。三是木座，是铁五爪的躯干部分，“爪背入木数寸”，上接撞子钎的冲压，下压五爪，有传力的功能。四是铁五爪，因是铁制的五爪，“如覆手状”，由此而取名为“铁五爪”。五爪是直接做功的部分。爪沿周均布，爪内侧生齿，横切面几何形状为五边形，是捞取钎头的有效工具。

铁五爪的打捞对象是铁钎，而且是“惟钎坐坠，或只坠钎头者。取之之法”[36]——待铁五爪按规格要求制作毕，然后由地面“垂爪入井，爪定所坠钎头，匠氏从上督索撞子钎由筒中击木，木击五爪，数击，则爪攫剿钎者，牢不可以游滑自匿”[36]。

（二）搅镰

搅镰属于井下打捞工具类，在明代万历年间已有确切记载，在川北一直沿用到现代，有的小盐厂至今还在应用。主要用于捞取井下火掌篾及其带篾的落物。如汲筒带篾者，钻具带篾者，即用此具捞取。其结构由两条长约1.2～1.5米，宽3厘米的楠竹片捆扎和一个弯钩状的铁片组成。铁片宽一般是2.2～2.5厘米，厚0.5～0.8厘米，卡住固在其中一竹片腰部横向上，与竹片平行，使之形成一个开口2.2～2.5厘米，口隙6毫米，即为捞取井下火掌篾的做功部位。使用时，把搅镰捆扎在火篾下端放入井内，如遇到落物时，地面井口工匠手持竹篾稍用力向下一按，使两竹片自动弹开，搅镰上的铁钩便靠住落在井内的火掌篾上，然后顺时针方位旋转，铁钩将斜倚在井内或裂缝中的火掌篾扫出，其口隙牢牢卡住火掌篾，再用绞车慢慢提升，如感觉很重，这证实搅镰已卡住落物，便把掉入井内的火掌篾及携带的落物一起打捞出地面。这种打捞工具结构简单，制作精巧，使用方便，打捞功奇，“若掘井之际，……钎（系钻井工具）带火掌篾而坠井，以搅镰钩出，为力易易”，“出法亦巧，而为器亦异”[36]（见图5－4）。

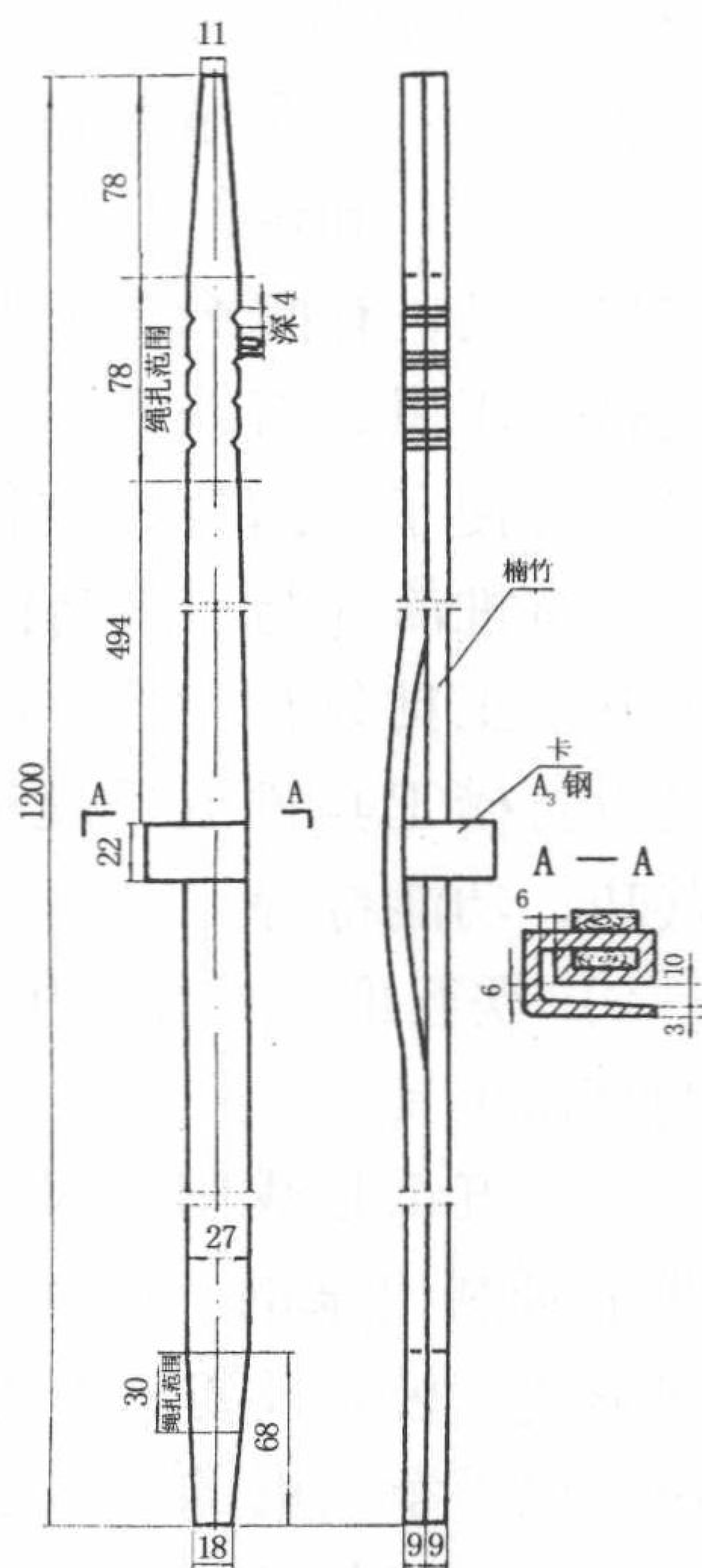



图5－4　搅镰　明代
自贡盐业历史博物馆藏品

（三）搜子

搜子属于维修工具类。《盐井图说》云：“搜子者，铁条之有啮啮者也。搜子，铁千方而微，长近常重均有半，其末锐，可以深入，稍有纽旋，能曲折以入，有



旁同齿，骈列上向，能挈物以升，泥既释。”[39]根据川北大英乡遗址征集的实物得知，其构造由上部泥座子、中部扁铁杆、下部三对羊角齿及底端舌形铲头四部分组成。此具全长3.72米，扁铁杆宽26毫米，三对齿分别于0.793，0.505，0.285米处依次排列。齿直径为10毫米，与扁杆的间距为12毫米。舌形铲头高0.13米，中宽28毫米。当井内被淤泥填紧密结固时，则用搜子入井“以和解其胶密”[36]，“令其释也”[39]。反之，则用“漕钎以冲击其脂凝”。经过搜子或漕钎等工具，把井内淤泥反复冲击、翻松、搅匀，使其成为泥浆，然后用泥筒取出，解除“淤泥填塞”[36]盐井的故障，确保生产的顺利进行（见图5－5）。

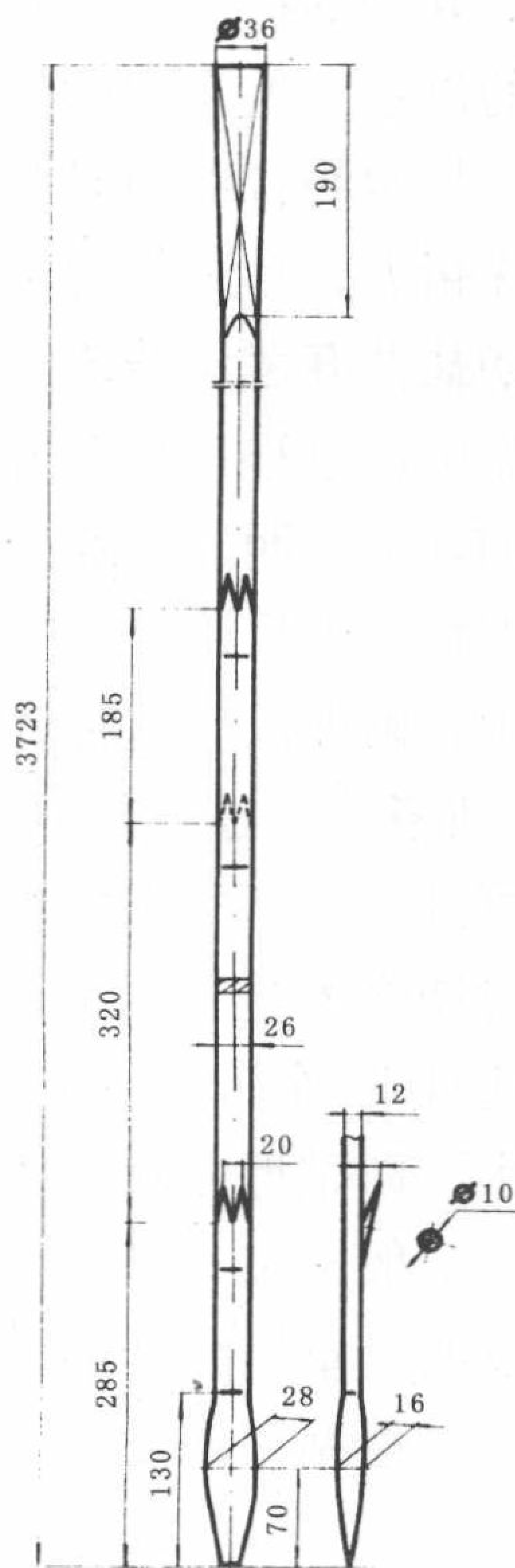



图5－5 搜子 明代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

修治井工具的初步发展，解除了盐井在钻凿和生产过程中发生的故障，从而确保了向地层深部继续钻进和正常生产的顺利进行。

由于盐井的加深，井径的增大，钻具的加重，井下打捞技术的复杂化，产卤量的提高，同时必须改进地面设备，以促进盐业生产的发展。这一时期的地面设备有支撑设施楼架、天车，滑动部件有天滚（辊）子和地滚（辊）子，同时有横盘（俗名簸头）和两耳（又名闸板）；凿井机械有踩架（又名碓架）；起动装置有盘车（又名绞盘车），辘轳等；在源动力方面已用了牛力，“力厚者则制牛车”[36]。因而，明代的钻井和修治井工具有了十分明显的进步。

## 第三节 明代钻井工艺的新发展

四川井盐生产，远肇公元前3世纪的大口盐井，历经1 300多年的发展，到北宋中期，卓筒工艺的开创，井盐钻采技术有了重大突破。

卓筒工艺，采用冲击式顿钻法凿成，其井身结构以巨竹作套管横隔淡水，并用汲筒提捞采卤。这标志大口浅井向小口深井演进，同时为现代石油井开辟了道路，因而，在世界钻井史上都占有重要地位。

但卓筒井工艺不够完善。如以楠竹作套管，固井不够坚牢，井下故障较多，盐井口径受到了局限，影响了向地层深部开拓，井卤能力不能得到充分开采等。这些问题，在井盐生产发展到一定的历史阶段，卓筒工艺需要逐渐加以完备。

元末战乱，全国变成一片废墟。明王朝建立后，社会百废待兴。井盐生产主要处于恢复时期，因此，明初钻井工艺同钻井工具一样，没有大的突破。但井盐业的恢复，为后来钻井工艺的进展做了准备。到明中叶以后，井老水枯的现象日

趋严重，限制了盐业的发展，已成为当时的大问题。为开辟地下深层卤源，盐井的加深，井径的扩大，井身结构的改变，对钻井工艺也提出了更高的要求。但随着社会的进步，生产力的发展及盐政的改革和调整，在宋代卓筒井的基础上，盐场井匠竭尽聪明智慧对钻凿工艺进行了重大革新。同时，钻井工艺的进步，又向地下纵深拓展，钻采新的卤源，以满足煎盐的急需，促进了井盐业的大发展。

**一、明初盐井开凿沿袭宋元方式**

井盐生产过程包括钻井、采卤、运卤及煎盐四大主要工序，但其中以钻井为最基本的环节。明初盐业生产仍然是大口井和小口井两种并存。大口盐井称“皮袋井，围径三五尺许”[36]。开井地址，多在河岸或山形急弯处为宜。若当凿到咸泉，以木石砌而成。这种井挖掘，“工力浩巨，非一载弗克竣”[36]。而且生产条件艰苦：“所煮者不过一盐井耳，浚之甚难，非二三十丈不可竟业；取之甚苦，非四五日不可煮盐，且所煮之数不足以偿其所税之数。”[40]为此，其井型与采卤方式类同汉唐时期之大井。“小井谓之卓筒，以竹筒设机抽水。”[41]从战国末到明中叶，先后长达近18个世纪，采汲的都是地下浅层天然卤水（人称草皮水）。所谓浅层天然卤水，即是埋藏在地表下的自然淡卤，简称地表卤水或表层淡卤。它的含盐量很低，一般产量有限，赋存于新老的地层中，距地表埋深仅数米至三百米。圆刃钻头发明和卓筒井开创以来（北宋初到明初），井数增长很快，即虽小井增长数倍于大井，但钻井深度一直没有新的突破，基本上停滞在宋元“几十丈”钻采水平上。

据北宋苏轼《东坡志林》卷四记载：“自庆历（1040—1048）皇祐（1049—1053）以来，蜀始创筒井，用圆刃凿如碗大，深者数十丈。”

北宋沈括《梦溪笔谈》卷一三载：“陵州（今四川仁寿县）盐井，深五百余尺。”

《续文献通考》卷一九说：“山谷之民，相地凿井，深五六十丈，幸得盐泉。”明正德《四川志》卷二〇五曰：明代盐井“深至六七十丈；浅者三四十丈；其广者七八丈”，凿得盐泉，以柴煎而后成盐。

明嘉靖《四川总志》卷一六云：“民间每凿一井，深五六十丈……经年累月而后成。”

据上述史载，自宋经元迄明，盐井仍有大井和小井并存，但以小井为主。井深有三种情况：第一，深者“六七十丈”；第二，浅者七至三十丈；第三，一般四十至五十丈。

由此可知，明代前期盐井深为七至七十丈之间，应包含在苏轼概说的井深“数十丈”范围之内。

这证实，明（代）前期凿井深度没有向纵深发展，亦即，明前期盐井深度仍停留或者接近宋代卓筒井的水平上。

总的来讲，明初盐井与宋元时期大致相同，主要表现在：

第一，明初盐井生产，仍然沿袭宋元方式，分大井和小井两种，但以小井开



采为主，“蜀古井百一，竹井十九。”①

第二，卓筒井身结构没有新的改革。筒井自北宋初发明，迄明中叶400余年间，其井身结构没有大的改进，与宋元时期基本相同。即仍采用竹筒连接，下入井内作套管，构成井壁，以隔绝淡水，因此，称之“竹井”或“竹筒小井”。

第三，井径小，井深浅。由于用竹筒下入井内作套管，井口内径小，仅为“8～12厘米”；于是，限制了盐井口径的扩大。同时，也扼制了凿井钻头的加大及向地层纵深的拓展。因而，凿井深度一直没有大的突破，长期停滞在宋元“几十丈”钻采的水平上。

**二、井卤的枯淡**

四川是我国井盐最早的发祥地，也是世界上深井圆刃钻头和卓筒井的诞生地。但井盐的原料源于地下卤水——凿井采卤，熬制成盐，故名井盐。而卤水的盈缩、咸淡与井深浅关系极为密切。因明前期凿井较浅，开采的是地下浅层淡卤，而且一般产量不丰，到了明中叶，井卤枯竭、淡化日渐加重，迫切需要改进钻井工艺，向地层深部拓展，寻找新卤来源，以补充煎盐卤水的不足。

（一）井卤的枯竭

自然规律决定了浅层卤水必淡，而且地下埋藏量有限。四川地下浅层淡卤经过漫长岁月的开采，尤其是北卓筒井诞生后，至南宋绍兴年间，卓筒井遍布全川达到极盛时期，井数发展到4 900余眼，岁产盐6 000万斤。至元（代），亦经过了七八十年的继续开采，致使表层淡卤水位大大下降，剩余储量极其有限，迄明代前期和中期，盐井钻凿停滞在宋卓筒井的水平上，没有继续向深部拓展，亦就是说没有开凿新的产卤层，出现了卤层衰老，旧井弃废，盐井水枯的被动局面，因而从明初就感到制盐卤源不足，至明中叶前后日趋严重。如早在明洪武时期，永城盐井“井水涸竭，难于煎办”[42]。仁寿县“石基盐井废”[43]。永乐三年（1404年）二月，中江“禄聚井煎不及额”[44]。明中期盐井枯竭严重，据正德《四川志》（卷二五）载：“大井……泉脉渐竭。”又说：“井老水淡……灶丁逃逸数多。上流、通海、黄市、富义、广福、华池、新罗、罗泉尤甚。”久负盛名的剑南最大的富义盐井，早在明初永乐十九年（1421年）前后，因“淡水渗滥”发生井病。后于嘉靖年间“富义、邓井久在坍塌”而废弃[23]。与富义盐井齐名西川的另一口大型盐井——陵井（又名狼毒井），亦相继停废。“或有井老泉枯，或颓损无力修葺，或潦涨入井，不可煎煮。”[41]

从明初至中期，无论小井或大井，都现出卤源枯竭的现象。所以，约束了井盐业的发展。明代与宋元相比，较元有所发展，但与宋尤其与南宋相比，差之甚远。关于卤枯竭的原因，主要有两点：一是钻井深度没有向地层纵深拓展，仍停滞在宋元时期的水平上。而且在同一个地区内的盐井，如一直无休止地在同一卤层中开采，日复一日，年复一年，时间稍长，无疑容易导致盐井迅速枯涸。“初时地脉深厚，每盐水一桶，煎盐多至十斤。今水渐淡薄，每桶止二三斤。或历一二

① （明）郭子章：《〈盐井图说〉序》云：“蜀古井百一，竹井十九。”竹井“系竹筒小井，亦即卓筒井”。而“古井”即大口盐井，简称大井。可见明初大井甚少，小井占绝对优势：“竹井（小井）十九。”

年，则盐水枯涸。”[7]这就是明代盐井卤贫的一个重要原因之一。二是井卤的枯竭与元末遗存下来的老井有关。明洪武五年（1372 年），即明王朝统一四川的第二年，“四川盐井计一千四百五十六，已开煎三百八十眼，其未开者一千零七十六眼。”[45]

由此足证，元末遗存下来的“三百八十眼”仍继续在明初生产。开煎井数的减少，这固然是因明初战争严重的影响，但明太祖在位时，经过二三十年的恢复，盐井不但没有增加，反而比洪武五年井数减少 102 眼，仅生产井“二百七十八眼”。说明开凿新井弥补不上，老井弃废甚多。

（二）浅层卤淡盐微

因卤水赋存于地表层，容易受到降雨量的影响，卤咸微薄（含盐量很低），而且地下埋藏储量亦有限，除少数井外，一般产量不丰。据史载，早在明洪武、永乐时，盐井“咸水细微”，“咸水减少”，卤水淡化，已开始显现。成化十二年（1476 年）四川巡抚右副都御史张瓒奏：“四川……久消耗，其各井盐水微细，煎赔艰辛。”“小井谓之卓筒，以竹筒设机抽水，尽日无几。咸水一斛可得盐一十五斤，淡薄水数斛，仅得其半。”[41]盐井“多在溪涧，时被（水涨）淹没”，卤水含盐极微，煎熬甚难。明马骥著《盐井图说》云：“水有广水，昼夜力汲不竭，然味近淡。有咸水，昼夜计有数，然味亦不齐，有一担而煮盐五六斤者，有八九斤至十二三斤者，顾遇何如耳。”高汝镕《乐盐纂要补遗》（“乐盐问答”第一页）云：每卤水一斤，咸量“平均八钱，最浓者一两一二，最淡者四五钱而已，然普通以八钱居多数”。

川南“新罗小井原井七十四眼，水淡盐微，课例不同”[48]。自贡老井表层卤咸不足一两。由此，卤淡咸少不仅是川东、川北的盐井，而且川南也同样。“水淡盐微”是全川表层卤水普遍的现象。

就卤产量和盐产量而言，除川东地区因特殊的地质条件，形成卤淡水丰（如，白兔井），历代不衰外，其余川北、川南广阔地区，大多数卤井单产量低。最低者每井日产卤不及 0.2 立方米（如，乐至），一般井产卤仅在 2 立方米以下。

由于井卤的枯竭、咸量的淡化，卤水大幅度的减产，到明中叶日渐严重，因而，约束了盐业的发展。明代景泰年间，岁办盐额增至 2 135 万斤，约为洪武初年的 2.5 倍。但至明正德年间逐降，到万历年间盐产量降至岁办盐额 986 万斤，下降的幅度约等于景泰年间上升的幅度。这时，井塌卤枯十分严重：“井干塌者十之八九，课无所出，（灶户）相继逃亡。”[49]于是，又重复出现了北宋初井卤枯涸的现象。明代井盐业由兴盛走向衰落。但明万历年间（1573—1619），在川北射蓬等盐场，井匠对钻井工艺和圆刃钻头进行了重大改革，同时，地面动力设施也得到更新，从而不断向地层深部开凿，随即获得新的卤层和丰富的卤源，使盐产量大幅度提高，射蓬盐场由衰转兴，空前繁荣。

## 三、明代后期钻井工艺巨大的进步

由于明代前期钻采是表层淡卤，而且钻采深度基本仍停滞在宋、元水平上，因此，表层卤水除个别井外，多数卤源不丰，产量低，同时井病多，井卤枯竭快，于是向地下深部开辟新层卤源，成为当时急需解决的大问题。这就要求凿井钻头



改进及革新工艺。而钻井工艺的发展，主要表现在凿井工程的程序化和井身结构的改进上。

(一) 凿井工程的程序化——钻井严密划分为六道工序

明中叶以后，盐政的改革和调整，盐业生产得到了较大发展，于是，钻井工艺在宋、元卓筒井的基础上有了进一步的发展和提高。其凿井施工程序，据《盐井图说》分为选定井位、立石圈、凿大窍、搧泥、下木竹、凿小窍共计六道严密工序：

1. 相井地

相井地，今名定井位。井位选定是否恰当，决定钻井的成功与失败。因此，盐井开凿的井位十分重要。古代选定井位是由经验丰富的井匠技师领导和负责的。井位多选定在“两河夹岸，山形险急得沙势处”[36]。“凡蜀中石山去河不远者，多可造井取盐”[27]。

2. 立石圈

所谓“立石圈”，就是用岩石制成内圆外方的石圈，用于加固表层浮土和松软岩层，以防止垮塌，为安全凿大窍创造条件。其做法是：先用人工挖地成圆井，其深度“尽去面上浮土，不计丈尺，以见坚石为度。”[36]然后，将石圈下入挖好的圆井内，层层叠垒，构成石圈井壁，石圈内圆直径的大小，根据井径而定，川北地区一般为0.23米左右。

3. 凿大窍

大窍用锋利的大铁钎（即大钻头，直径22厘米）凿成。其钻凿工艺为：

“北口傍树两木，横一木于上，有小木滚子（定滑轮），以火掌（篾）绳钎末，附于横木滚子上，离井六七步为一木桩，纠火掌篾而耦舂之，滚竹运钎，自上下相乘矣（钻头在井底下往复碎岩）。匠氏掌钎篾坐井口傍，周遭圜（通圆）转，令其窍圆直。初则灌水凿之，及二三丈许，泉蒙四出，不用客水，无论土石，钎触处俱为泥水。”[36]并用泥筒取尽井底泥水，又继续以铁钎钻凿：“次第疏凿，不计工程力大，较至二三十丈许，见红石岩口（红色砂岩），大窍告成矣。”[36]

4. 取“泥水”

在钻井过程中，“无论土石，钎触处俱为泥木”[36]。然后用竹筒一根，长丈余，通节中空，下端置皮钱（即阀门），以掩其底，称之“泥筒”。大约“每凿一二尺，匠氏（井匠）命起钎”，然后用泥筒下入井内，“至泥水所在，匠氏揉绳伸缩，皮歙水入，挹满搅出。”[36]即取出“泥水”，谓之“搧泥”[50]。

5. 下木竹

下木竹，即下表层套管。当大窍凿完后，便接着下木制套管。其目的是封隔表层淡水。下竹的方法：

“竹有木竹、樺竹二种。木竹，取坚也，刳木两片，以麻合其缝，以油灰衅其隙。樺竹出马湖山中，亦以麻裹之。木竹末（端）为大麻头（即套管鞋），累累节合，下尽全竹，四溃淡水障阻，不能浸淫。”[36]

6. 凿小窍

凿小窍即凿小眼。小窍，用小铁钎（小钻头）凿成。凿小窍的方法与大窍的





方法全同。其深度，在大窍底往下，再“凿至二十丈，中见白沙数丈，有咸水数担，名曰腰脉水。去咸水不远，寻凿之，而咸水渊涓自见也”[36]。至此，小窍凿成，盐井也便告此竣工。

明代凿井严密划分为六道工序，比宋代卓筒井有了巨大进步，这不仅为当时建井起到重要作用，而且为清代钻井工艺的发展奠定了基础。

（二）井身结构的改进——木竹（即木制）套管固井

明代后期钻井工艺的进步，不仅表现在钻井过程中明显地分为六道工序，而且更突出的是新技术、新材料的应用，改进了固井方法，提高了固井质量，使井身结构趋于完善。

宋代卓筒井，“深者数十丈”[51]，仅用大楠竹通节，制成表层套管，下入井内，构成井壁，这是一种简单的井身结结构。到了明代中叶以后，川北盐井“深者百丈”[52]，而川南自贡盐场最深者达“135 井丈”（折今 486 米）①。井深与宋代卓筒井相比，已有显著的增加。同时，木竹（套管）封住地表层淡水，要下 20 ~ 30 丈（　　）[36]，约占全井深的 1/2 ~ 1/3，可见，木竹在当时下得比较深。

由于盐井深度的增加，木竹（套管）下得较深，因此，楠竹制作成的套管不够坚牢，便开始淘汰，于是改用木制套管。木制套管的应用，则是固井材料在材质上的新突破。这在《盐井图说》中做了简明记述：“大窍钻完，随议下竹，竹有木竹、梓竹二种”[36]。以制作套管，下入井内，构成井壁，隔绝淡水。用木制套管代替竹制套管是固井技术的巨大进步。

（清）《蓬溪续志》卷一记载更详：“凡制木竹，取柏材周二尺，长四尺有半为一裁，锯折为二，刳令中虚，作筍于端，牝牡相衔合，必错节，欲其坚也，三裁所续，是谓一连。以慈竹篾缠其外，楔以竹片，以垩和桐脂涂之。……又结麻为环，紧束其口，则所麻布披指拂于环中，乃折回扎于环后，又涂之（油灰），麻仍下披，所谓反水麻，又曰麻头（即套管鞋），置于大凿之及之岩，随下而随续其上端，与井口平。”[39]以隔“淡水濡其外，咸泉渍其中”[39]。

用坚木制成的套管，材质坚硬，比竹制套管更厚实，而且用榫头衔接（两木片的接头处）亦更加牢固，再加上“以麻合其缝，以油灰衅其隙”[36]。因此，木制套管入井后有耐久、不断、防腐等优点，弥补了楠竹套管容易破口、断裂、变形等缺点。木套管的使用为后来清代突破千米深井奠定了基础。

明后期以石圈、木竹（木制套管）及油灰三结合固井，在当时是很先进的，使井身结构趋于完善。全井结构可分为三大段，下段为裸眼，系硬岩层组成；中段用木竹构成井壁；上段以石圈障土。这种全井结构，自明至清沿袭。与现代钻井中的固井方法（即用钢制导管、表层套管及水泥三者固井）相比较，可以说基本原理是一致的。

---

①　据自流井盐厂《福林井井矿卡片》记载：自流井雷家冲福林井，于明代嘉靖年间凿成（有说明末开凿），井径 8 厘米，井深 135 井丈（一井丈合 3.6 米），折今公制 486 米，开采三叠系上统的黄卤和天然气，至 1949 年初废弃。



## 第四节 明代采卤技术的进步

明中后期，随着钻井技术的进展，凿井深度有了显著的增加，川北盐区钻深超过300米，而川南自贡盐区的凿井更深，近于500米，比宋元时期的井深倍增。伴随盐井的加深，获取更丰富的卤源，提高产卤水平，促进川盐生产的发展。因而，必须对原有的采卤设施进行改造、更新，同时加大推汲动力，提高生产力，以适应开采井下丰富卤源的需要。这一时期问世的“牛车”“天车”等设施，其采卤技术乃是卓筒机械的继承和发展，并形成了自己独特的体系，使明代的采卤技术进入一个新的时期。

### 一、采卤机械的变革

宋元时期，卓筒机械采卤，则是一种先进的设施，但却属浅井轻荷负载。到明代特别是明中叶以后，由于凿井较深，卤源增多，咸量升高，这必然给采卤机械提出了增大负载的要求。同时，井深增加，无论是给生产井或是修井都带来比较复杂的问题，如一遇井内发生故障，更需要加固和增大动力设施。因而，采卤机械的改进和革新，则是井盐生产发展的必然。关于采卤机械及动力的进步，在明代一些科技名著乃盐商家谱中，都有明确的记载。

#### （一）新型“天车”的问世

天车是伴随着井盐采卤技术发展而出现的，它的前身可追溯到汉代大口盐井采卤的双层楼架[53]。井盐生产历经了漫长岁月的发展，到明代后期，在川南自贡盐区，一种新型的“天车”终于问世了。

据马骥《盐井图说》记述：“厥工既就，始树楼架，高可似敌楼。上为天滚（即滑轮），有辘轳声，制筒索吸水，如前吸泥水法，而枢轴则管于车床也。床横木为盘，盘有两耳，作曲池状，左右低昂逆施：左揖地右伸，右揖地左伸。循环用力，索尽筒出。”“去楼架稍远，复以木为圆架，中安枢纽如磨盘，各盘车，将绳度过楼架转轮，系于盘车。”[33]此“盘车”即《盐井图说》所谓的“车床”，相当于今各盐井“地滚子”[54]（地滑车）。

从上述史实不难看出，这时盐井的形制及采卤设施，仍保留有大口井及卓筒井浓厚的痕迹。但又发生了可喜的新变化，采卤机械及动力有显著的进步。

据盐业世家《李氏族谱》记载：“祖，讳羽阳，字果育……一日馆中归来，曾祖命伯赞阳上‘天车’换索，伯祖难之，祖时方十岁，即踊跃趋事。”[55]查李果育十岁时，即明代天启末年（1627年）。这是中国井盐史上“天车”的首次记录。关于“天车”的形制和结构，明嘉靖年间川南自贡开办的福林井，天车以多根圆木捆绑而成，高三丈左右，上安装天辊，下为两脚，其形似牌坊，矗立于井口，用作凿治井和采卤[56]。明末天启年间，自流井已成为四川著名的产盐区，有盐井多至380眼，天车作为盐井一种重要的设施，这时则是得到较广的运用。明后期，川北盐区仍用“楼架”采卤。以竖一木、二木或多木，捆扎成“楼架”，其“高可似敌楼”，上置天滚，用于卤井支撑采卤。所谓“楼架”，清乾隆《蓬溪县志》（卷三）作了进一步说明：“井上树三木，约长三四丈，上尖下阔，如鼎足。尖上

置转轮，曰‘楼架’（清《四川盐法志》注曰：“此当前天滚。”）。”显而易见，这种“楼架”已有改进和发展，不同于大口井时期的“楼架”，其形制和结构，倒是类同自贡盐区的天车。

明代天车的出现，并用于盐井钻采卤水，标志着采卤技术的巨大进步。同时，为清代天车井架的发展和完善奠定了基础。

（二）大型采卤车的创制——“牛车”

宋元时期卓筒工艺采卤所用的花车、辘轳，现已改制、发展成为一种大型采卤车。这种车，明马骥在《盐井图说》中称之“牛车”，“力厚者则制牛车”。宋应星《天工开物·作咸》命名为“牛盘”，“牛拽转盘”。同时书中绘有“牛盘”图一幅。为我们了解当时“牛盘”的形制和结构提供了史实物证（见图5－6）。




图5－6　牛车推卤　明代
采自：宋应星《天工开物·作咸》

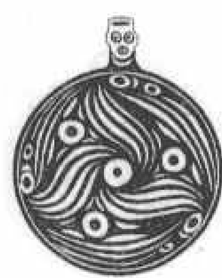
从“牛盘”图像清晰地看出：牛盘车轴（心）竖置于地，轮形如盘，故名“牛盘”，一种牛盘车，又名“八爪车”（即车盘圆周共分八格）。其形制、结构、安装方式与清代大车（地车）基本相同。但牛盘车直径更小，一般直径在3米左右。这种车，在自贡盐场一直沿袭到20世纪50～60年代，作为大型盐井的一种附属设施，不是直接用来采卤，如岩盐井新搭或抽换盘绕钢绳之用，或新立天车时，用于提升架设天车木料，或临时撬车，用作小型盐井的修治。此外，牛盘车与清代雍正、乾隆之际井盐画卷上——“牛车汲卤图”[54]仍是大同小异。据此可知，明代后期的采卤方式，在川北一些盐区沿袭到清初。

这种车，车轴粗大，车轮坚牢，这比起花车、辘轳之类，所承受的负重更大，同时，轮盘直径加大，所环绕的篾绳也大为增长，因之更适用于卤丰较深的盐井采卤。

## 二、采卤动力的改进
## ——牛力代替人力

井盐生产创始于秦，经汉唐大口盐井时期，乃至宋元卓筒井时期，采卤动力沿袭人力。南宋宝祐元年（1253年），虽长宁淯井“改以牛具推车取水”，但仅限于个别盐井，在当时及其以后尚未普遍推广和运用，所以，在井盐开采史上，其价值和意义都不大。

随着采卤机械的革新，采卤动力及开采工艺亦进行改进，与机械创新得到同步发展，组成机械、动力、工艺三者相互协调，成龙配套，以适应较深盐井“力厚”的条件，才能大幅度地提高卤水产量，促进井盐生产的发展和盐业的繁荣。为此，采卤动力的改进，即以牛力代替人力，则是明代采卤技术进步的一个重要组成部分。



卓筒机械采卤，即以人力为动力，小巧玲珑的花车提升，短小的汲筒盛卤，一人采卤车，其功率不足1公制马力。而一头牛力可顶替2~3个人力，即提高工效2~3倍。所以，明后期，人们对此已有明确的认识，在较深且卤丰咸重的盐井，则采用牛力采卤，可获得了“力逸而功倍”的效益。宋应星《天工开物·井盐》云：“井上悬桔槔、辘轳诸具，制盘驾车。牛拽盘转，辘轳绞缍，汲水而上，入于釜中煎炼”，结盐至白。马骥《盐井图说》亦说：“转辘轳者，盖三人为之；力厚者则制牛车，车状大，力逸而功倍也。”这时根据动力不同，可分为两种采卤方式：一是浅井卤薄，以人力协同“转动辘轳”采之；二是在较深卤丰盐井则“驾牛转盘”推水。

至此，以牛为动力的采卤方式逐渐兴起。到清代在富荣（即自贡）、犍乐等盐业发达的盐区，普遍推广用牛车推卤，也有少量的盐井用骡车推汲。“井浅则用三牛，井深则用四牛，井深水多则用五牛”[57]。牛车推卤，分单推和双推两种形式。所谓单推，即一部大车推汲一眼盐井的卤水；所谓双推，即以一部大车推两眼盐井的卤水，又称推“鸳鸯车”。富荣盐场极盛时，常年养牛近“三万头”[58]。为此，盐井数量和井深的增加，采卤机械和动力的变革，促进了井盐业的兴盛和繁荣，而牛为此做出了不可磨灭的重大贡献，写下了井盐史上光辉的一页。

**三、“牛车”采卤工艺**

关于“盘车”采卤工艺，宋应星在《天工开物·作咸》等科技论著中，做了简明的记述：“井及泉后，择美竹约丈长者，凿净其中节，留底不去。其喉下安消息（系单向阀门），吸水入筒，用緪系竹沉下，其中水满。”用机械汲水而上（见本节“牛车推卤”）。马骥在《盐井图说》中也述道：“制筒索吸水，如前吸泥水法。”所谓“吸泥水法”，即“用筒竹一根，约丈余，通节，以绳系其梢，筒末为皮钱掩其底，至泥水所在。匠氏揉绳伸缩，皮歙（即阀门）水入，挹满搅出”。（清）《蓬溪县志》卷一五记述颇详：“汲水使上，则驱牛拽盘车旋转，以牵引其绳，放入便下，则解盘车之牛绳，随筒自下矣。一收一放，如轴轳然。”[33]据上述史载及采卤工艺要求，则顺理成章于下。

其一，是地面采卤“牛车”安置。牛车安置包括：井口竖立的天车及车顶设的天滚子（即天滑轮）；另与井口一定间距安置盘车；在井口与盘车之间设一小木轮，名曰：“地滚子”（系地滑轮）；火掌篾（川南自贡推水用的篾索，与川北不同）一端系于盘车，另一端经过地滚、天滚子，悬汲筒垂入井口，并将地面各种机械组成一个有机的系统，为采卤做好准备。

其二，是牛车安全的检查。检查各种设施安装配制是否符合采卤安全要求。其中检查重点是竹篾有无破裂、占头松退（如接头处）等现象，若有，则立即抽换，将故障防患于未然，以保井下采卤安全。

其三，筒篾入井。松弛盘车勒篾（川南区俗称拭篾即刹车带）。借汲筒、竹篾自重，“由上而下，车则左旋”“承受筒自下矣”。但筒、篾入井过程中，勒篾要适当控制车速。一般操作是汲筒开始缓慢下井，逐渐加快，然后至井底又缓缓入水（以防止过快，折断竹篾或处断汲筒），即汲筒入井上下缓慢，中部稍快的操作规程。





其四，搧水入筒。由于地下浅层卤水水位（水柱）较低，或因井老水枯，汲筒入井水装不满筒，所以，采用搧水。即“匠氏揉绳伸缩”[36]，俗称“按过江”（系汲筒在井内一上一下作往复运动），筒底皮钱（阀门）一张一闭，卤水断断续续注入筒里，直使全筒盛满，谓之搧水。

其五，推筒篾出井。筒内水满，即驾牛转动盘车右旋，由下而上拽篾，将筒篾推出井口。但起推时，尤其要注意一点：中下井段推速稍快，当推筒出井口时，推速减慢，缓慢推筒出井。如推速过快，汲筒容易从天滚子上翻越坠落地，发生搬竿竿坠筒事故。

其六，拘①水出筒。汲筒推出井口后，悬垂在天车上，首先是靭篾（刹车带）将牛盘车固定不动，然后，工匠用手把汲筒略推动错开井口，对准卤桶，左手扶持汲筒，右手持筒拘开皮钱（阀门），卤水自动流出注入桶内，再运卤上灶煎盐。

上述采卤机械的变革、动力的改进、开采工艺的演变，足可说明明代后期采卤技术，比卓筒机械采卤有了显著的进步。

**四、明代钻采技术的进展与井盐业的繁荣**

明后期井盐业的繁荣，同当时的社会政治、经济及技术等因素有密切关系。就技术条件而言，一是钻井技术；二是开采技术，即钻采技术的进展，促进了井盐业的繁荣。

为适应向地下深度和广度开凿盐井的客观需要，在圆刃銼的基础上，已研制成功了以铁钎为代表的新型钻头及巧奇的修治工具。同时凿井工艺的改进、固井新材料的应用，以木制套管代替了楠竹套管，突破了楠竹对盐井口径的限制，于是钻井技术有了重大的进展，盐井钻凿工艺自宋至明经历了约500年的演变，并不断发展、世代相传，已锻炼和造就了一大批技术娴熟的能工巧匠。他们在较深盐井开凿中，如发生井下故障或遇地下岩层复杂多变的情况，能巧妙处理，得心应手，排除故障。马骥《盐井图说》述道：“其施为次第，在井匠董之……匠氏掌钎篾坐井口旁，……令其窍圆直。”马骥又说：“若掘凿之际，钎偶中折而坠其中者，或遭淤泥作阻者，其出法亦巧，而为器亦异……匠氏作法意也。”

请看“井匠董之”“匠氏……令其窍圆直”“匠氏命起钎”“匠氏作法意也”。这些巧匠在各个工序的环节上，“其出法亦巧，而为器亦异”，从铁钎和铁五爪等工具的创制，到垂入井中的使用，足以说明井匠技师的技艺高超，巧夺天工。

随着钻井技术的进展及工匠技能的提高，盐井采卤技术也有了新的改进，采卤设施的变革，牛力被引进盐井采卤，动力的增大，工效比人力提高2~3倍。因此，钻采技术的改进，生产力的发展，使井盐生产获得了大繁荣。其主要标志为凿井深度的增加；盐井数量的增多；食盐产量的提高三个方面。

第一，盐井开凿深度的增加。这时，盐井钻深：浅者约160米，深者超过300米，最深者近500米，把四川盐井的开凿和盐业生产，提高到了一个崭新的阶段。川北盐区，盐井开凿超过了“百丈”大关，突破了自宋以来（自北宋至明万历）卓筒井的深度一直“几十丈”徘徊不前的状况。

---

① “钩”“拘”字，在盐场常通用。



钻井工具铁钎，首先在射洪盐场研制成功，也首先用它开凿盐井，则首先得益。不仅开凿深度超过“百丈”，而且钻井速度快，“井浅者，春十旬；深者增十二三，甚或增倍”[39]。川北新钻一井“深度在120至130米，需要三个月的时间”；“钻凿100米深的盐井，顺利要二三个月，不顺利要一年左右”[59]。这与明代宋应星在《天工开物·井盐》中记载“大抵深者半载……乃得一井成就”基本接近。

第二，盐井开凿甚广，遍布全川。明代中后期，不仅盐井深度增加，而且井数增多，广布全川。洪武时有盐井278眼，至景泰时发展到1 380眼，迄嘉靖年间，盐井开凿遍及全川57州县。明中叶时，四川著名产盐区包括：川东大宁（即今四川巫溪县）、云安（今云阳县）；川北华地（今射洪、蓬溪县）、仙泉（今仁寿县）等盐场。但产场又分为上、中、下三等。

明《正德实录》记载较详：“四川盐课，大宁最上，云安、仙泉则次之；郁山（武隆）、华池、㴸（䶵）井（忠县）、福兴（南部）为中；而上流、富义、广福（遂宁）、新罗（荣县）、罗泉（资州）、黄市（内江）、永通（犍为）、通海（中江）皆其下者。”[60]在这些盐场中，川北华池（射洪、蓬溪）及川南富义（自贡）盐场皆为著名。

由于铁钎钻头最早在川北射洪盐区设计制造成功，所以“百丈”井深亦是最先在这里突破，促进了盐业生产的大繁荣，但在明末战乱时对四川井盐业（包括华池盐场）造成了极大的破坏。到清初，康熙二十五年（1686年），该场钻采技术先进，盐业得以迅速的恢复和发展，有盐井306眼，占全省总井数（1 182眼）的26%，居四川第一位。

明嘉靖时，川南富义（自贡）盐场已崛起。“新开自流等”多眼盐井。这时，不仅有盐井，而且打出了“油井”和“气井”。用于煎盐“一井可供十余锅”[61]。至明末开启年间，富义盐场井数发展到492眼。其中自流古井380眼，议为上井，每年输课银1 002两；新罗小井74眼，因水淡盐微，课例不同，计井纳课，议为中井，每年每井征课银六钱三分。天启年间增加二钱五分，先后共征钱八钱八分；宋王小井38眼，水重卤轻，议为下井，每年每井征课银六钱三分。

第三，食盐产量大提高。随着盐井钻凿深度的增加，井数的增多，采卤方式的改进，开辟了丰富的卤源，从而促进了食盐产量大提高。如洪武二十五年（1392年），岁盐额903.5万斤。至明后期嘉靖年间（1522—1567），猛增到3 570余斤，比明初增长近四倍。为便于了解和比较，现将明代几个重要产盐时期，列表5－2。

**表5－2　明代食盐产量的比较**

| 时期 | 盐产量及盐井数 | 备注 |
|---|---|---|
| 洪武二十五年（1392年） | 盐产：903.5万斤 | 据《洪开实录》卷二二二 |
| 洪武年间（1368—1399） | 最高盐产：1 605万斤<br>盐井：278眼 | 正德《四川志》卷二五 |

| 时期 | 盐产量及盐井数 | 备注 |
|---|---|---|
| 景泰年间（1450—1457年） | 盐产：2 135 万斤<br>盐井：1 380 眼 | 正德《四川志》卷二五 |
| 正德年间（1506—1522） | 盐产：1 846 万斤 | 嘉靖《四川总志》卷一六 |
| 嘉靖年间（1522—1567） | 最高盐产：3 570 万斤 | 《四川盐政史》第七章一节 |

（本表出处，见表备注项。）

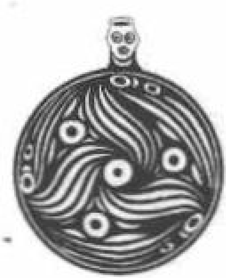
由上表证实，明代食盐产量，从明初至中期到后期，呈阶梯上升，逐渐提高，于嘉靖时达到了极盛。但到明中叶后，四川各场，发展不平衡，产量多寡不一："大宁场'出泉如瀑'，洪武时约为全省总产量的1/5，是各场首位。但系自然泉卤，故增产极少，弘治时较洪武时仅多30余万斤。富义、上流、永通等盐课司则是蒸蒸日上。富义洪武时岁办盐868 000斤，弘治时竟达到3 679 272斤，增长四倍多，颇为显著。正德年间，产量占全省总数的20%，取大宁场地位而代之"，[9]即上升到第一名。上流于正德时，产量则占全省总数的15%，仅次于富义、云安，居第三名。永通在弘治时增长三倍，正德时占全省总数的10%，列居第四名。还有仙泉，弘治时比洪武时增长五倍，最为迅猛[9]。此外，明代盐政机构的设立，从另一侧面反映井盐业的发展和兴盛。朱元璋统一四川后，立即整顿川盐。洪武五年（1372年）二月，在纳溪、白渡设置盐马司，以"常选官为司令，内使为司丞"，[62]利用井盐换取边区少数民族的马匹。接着置四川茶盐都转运司于成都。洪武十三年（1380年），在四川主要产盐区对井灶户及盐产情况调查清理。洪武二十年（1387年）二月，正式在四川成都设立盐课提举起司，其下设立15地置盐井课司，① 共辖盐井51处。各盐井课司设大使、副使一人。外有盐仓，仍置大使及副使。还在各井设有总催、牌首、总甲基层组成[9]。洪武二十六年（1393年），在建昌置白、黑二井盐课后，从此，盐政管理趋于系统化、专业化，加强盐课征收，确保税源的稳定及增长。明王朝从上到下，设立臃肿的课税机构，同时又不断对官吏加强监督，主张"考勤惰"，实行"黜陟"奖惩[63]。但由于盐政机构日渐庞大，盐官猛增，责任不清，彼此推诿，腐化内讧，其结果对败坏盐业起了推波助澜的作用[9]。

① 15地盐井课司包括：上流、黄市、华池、通海、新罗、郁山、滃井、云安、大宁、仙泉、富义、永通、广福、福兴、罗泉。



# 参考文献

[1]《明会典》卷三三“盐法”。
[2] 李培浩:《中国古代史纲》(下),北京大学出版社,1985 年。
[3]《明神宗实录》卷二二〇(万历十八年)。
[4]《明神宗实录》卷三六一(万历二十九年)。
[5](明)王圻:《续文献通考》卷二〇。
[6]《万历会典》卷三四。
[7](明嘉靖)《四川总志》卷一六“盐法”。
[8]《续文献通考》卷一九;又,(明正德)《四川志》卷二七。
[9] 张学君、冉光荣:《明清四川井盐史稿》,四川人民出版社,1984 年。
[10]《明史》“食货志四”;又,见上(本章)[5] 参考文献。
[11](清)贺长龄等编:《皇朝经世文编》卷四三一。
[12](明)《洪武实录》卷二一四。
[13] 张萱:《西园闻见录》,卷三六“盐法后”。
[14]《皇朝经世文编》卷六九,又,《古今图书集成》,职方典第五七九卷。
[15](清道光)《安岳县志》卷一四。
[16] 冉光荣:《明代四川井盐业的初步研究》,刊《盐业史通讯》,1978 年第 1 期。
[17]《明会典》卷三四;又(清)《四川盐法志》卷三九。
[18]《清盐法志》卷二八九。
[19] 李彦和:《见闻杂记》卷一。
[20](清同治)《营山县志》卷一八。
[21](明正德):《四川志》卷二七;又,《正德实录》卷四九。
[22]《正德实录》卷一〇九。
[23](明)熊过:《南沙文集》,卷四“答李令论税粮驿传盐策册籍四事书”。
[24](雍正)《四川通志》卷一四。
[25](乾隆)《两淮盐法志》卷七。
[26](光绪)《潼川府志》卷一一。
[27](明)宋应星:《天工开物》卷五“井盐”。
[28]《皇朝经世文编》卷三八三。
[29](乾隆)《井研县志》卷三。
[30] 顾炎武:《天下郡国利病书》卷六六。另见后(本章)[36] 参考文献。
[31](汉)刘向:《说苑》卷十“敬慎”。
[32] 丁宝桢主编:《四川盐法志》卷三和熊佐周等:《自贡盐场锉井及治井技术》,食品工业出版社,1957 年。
[33](清道光)《蓬溪县志》卷一五。






[34] 河北革命委员会水利局机井组编：《机井技术》，第二章（木弓或竹弓弹力）“人力架打井”，河北人民出版社，1973 年。

[35]（清光绪）《射洪县志》卷九。

[36]（明）马骥：《盐井图说》。

[37]（清光绪）《射洪县志》卷五。

[38] 荆三林：《中国生产工具发展史》，中国展望出版社，1986 年。

[39]（清道光）《蓬溪县志》卷一。

[40] 顾炎武：《天下郡国利病书》卷六五。

[41]（明正德）《四川志》卷二五。

[42]（明）《洪武实录》卷二四四。

[43]《洪武实录》卷二四五。

[44]（明）《永乐实录》卷三三。

[45]《洪武实录》卷七二。

[46]《永乐实录》卷六九。

[47]（明）《景泰附录》卷四五。

[48] 巡按兼管盐法屯田御史张所志奏：“清代档案”，顺治十七年正月初三。

[49]（明）《万历实录》卷五二九。

[50]（清）丁宝桢主编：《四川盐法志》卷二。

[51] 苏轼：《东坡志林》卷四。

[52]（明）郭子章：《〈盐井图说〉序》。

[53] 见本卷，第三章，第二节图 2－1，楼架采卤（东汉出土井盐生产画像砖）。

[54] 吴天颖著：《井盐史探微》（第 302～303 页），四川人民出版社，1992 年。

[55]（清）李芝修：《李氏族谱》卷九“果育君传”。

[56] 自贡自流井盐厂档案室：《福林井井矿卡片》，1957 年调查。

[57]（清）吴鼎立：《自流井风物名实说》。

[58] 罗筱元：《自贡盐场的牛》，刊《井盐史通讯》，1980 年第 1 期。

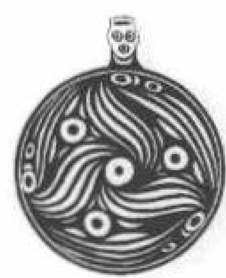
[59] 川北大英乡卓筒盐厂厂长李开林：《古老的民族遗产——川北大英乡宋代卓筒井遗址简介》，1987 年。

[60]（明）《正德实录》卷二二。

[61]（明）张瀚：《松窗梦语》卷二“西游记”，中华书局出版，1985 年。

[62]（明）《洪武实录》卷七一。

[63]《正德实录》卷二二。



# 第六章
## 清代钻井技术发展到高峰

我国古代钻井技术，于宋代发明，明代改进，清代发展到高峰。

清初，盐业政策比前代有了较大的改革，推行“任民自由开凿（盐井），遂为民之私产”“听民穿井，永不加课”[1]等积极举措，致使川盐业从明末清初战乱的废墟上得以复苏和发展。同时，钻井技术在明代的基础上有显著的进步，如乾隆时期“老双盛井”的钻凿，反映了当时的钻井水平。

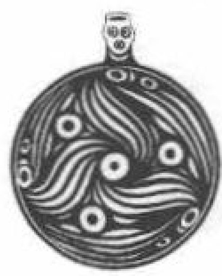
清中后期，特别是咸丰、同治年间，“川盐济楚”，开拓了广阔的市场，“增产加运”，获利丰厚，从而为四川井盐生产开辟了有史以来第一个“黄金时期”。[2]这一时期，钻井技术又有了新的改进和高度的发展，如钻治井工具群的出现、凿井工艺的完备、高超的修治井技术以及建立起严密的劳动生产组织管理制度等，已形成了一套完整的钻井工艺技术体系，取得了无与伦比的成就。这时，中国钻井技术处于世界的领先水平。

清代，伴随川盐生产的大繁荣，尤其富荣盐厂（今自贡盐厂）步入鼎盛，成为四川也是我国最大的井盐生产基地。因之，不少政界要人、文人墨客来此巡视、参观、访友，同时以井盐为题材，写下了许多名篇佳作，其中清进士、富顺县县令吴鼎立的不朽之作《自流井风物名实说》，在诸多的著述中独树一帜。在长期的盐井钻探和开发过程中，锻炼和造就了无数高明的井匠，钻井匠师颜蕴三，尊称“一代宗师”，就是无数井匠中一位杰出的代表。

### 第一节　钻井技术发展到高峰的社会背景

明末，皇帝昏庸，政治腐朽，宦官专权，贪污受贿，无恶不作。农村土地兼并加剧，大量农民沦为佃户，租税沉重，农民苦交皇粮国税倾家荡产。加以天怒人怨，灾害连绵，奇荒大作，民不聊生，处于水深火热的困境，社会危机四伏，阶级矛盾和民族矛盾日趋激化，最终爆发了明末农民大起义。1644 年 3 月，李自成领导的起义军攻占北京，建立大顺政权，推翻了明王朝的腐朽统治。

李自成领导的起义军进入北京后，一些起义军的领导人被暂时的胜利冲昏了头脑，居功自傲，腐化内讧。这时，训练有素、勇悍善战的清军，便大规模地向关内进攻，驻守山海关的明朝将领吴三桂等军队替清军开路入关，还有明朝各地地主武装力量仍然很强大，继续顽抗，并与清军联合起来血腥镇压农民起义军，致使在我国封建社会中规模最大、历时最久的这次农民起义最终失败。清军入关





后，于1644年，建立了我国最后一个封建专制政权——清王朝。

清朝建立后，承袭明朝的政治制度，但又有所改革，使封建专制主义、皇权集中达到了空前的地步。这时，摆在清统治者面前，仍面临两大艰巨任务：一是要继续进行和完成统一全国的战争；二是要恢复和发展残败不堪的社会经济。为此，清初朝廷，采取各种措施，恢复和发展农业和手工业生产。如在农业方面，奖励垦荒“永准为业”。宣布明朝藩王的庄田归耕种人所有，称曰：“更名田。”在一条鞭法的基础上实行“地丁合一”，即“摊丁入亩”的办法。从此，改变了“富者田连阡陌，竞少丁差；贫民地无立锥，反多徭役”[3]的状况。还推行了蠲（捐）免钱，治理河道等，经过100多年的恢复和发展，全国人口由清初5~6千万人，到乾隆十四年（1749年）速增为1.7亿，嘉庆十七年（1812年）猛增至3.6亿。同时，耕地面积比清初也增加了40%。

清政府实行“摊丁入亩”的办法，把工匠代役银也摊入田赋征收，废除了工匠的服役制度，有利于手工业的发展。苏州、南京、广州等地的丝织业，景德镇的瓷器业，云南的铜矿业，广东的冶铁业，均比明朝更加发达。

盐、铁自古是国民经济的两大命脉：“盐铁之利，所以佐百姓之急，足军旅之需，务蓄积以备乏绝，所以甚众。”[4]正因为如此，清廷建国之始，极为重视攸关国计民生之盐业，并把“盐课”征收，“以裕国课”[5]，其目的是为稳定和巩固在全国的统治，同时继续完成统一大业之“急需”，所以，“最为紧要”。“皇朝受命，戎衣初定，滇、黔、闽、粤未尽削平，所需兵饷，半资盐课。”[6]顺治帝上谕：“盐课钱粮，关系军国急需。”[5]康熙帝上谕：“盐课关系国赋，最为紧要。”[5]可见，清统治者如此期望和寄厚于盐课，由是愈见发展盐业之紧迫也。

清政府为恢复和发展四川井盐生产，振兴四川经济，放松对井盐生产的限制，允许自由凿井、自由采煎及自由运销等积极措施，才使“蜀盐始蹶而复振”[1]。封建束缚的松弛，井盐生产力的提高，市场的拓展，四川盐业有了迅速的发展。因此，生产规模的扩大，劳动细密的分工，雇佣劳动的增加，商业资本和土地资本转化为盐业资本。于是，在清乾隆、嘉庆时期，以富荣（今自贡）、犍乐为中心的四川井盐业产生了资本主义萌芽。

清末，富荣工场手工业有了进一步的发展，并随着井盐业生产采用机器汲卤，至此，富荣工场已开始向资本主义近代工业过渡。

## 一、清初井盐业的残破景象

明末清初，即明崇祯十七年（1644年）到清康熙十九年（1680年）的37年间，四川境内连续发生了大规模的战乱，给工农业生产造成了极大的破坏[7]。于是，四川社会经济出现百业凋敝、疮痍满目、土地荒芜、烟火寂灭、人口锐减，极目凄凉。四川人口急剧下降，如明万历六年（1578年），四川人口总数为3 102 073人[8]，到清康熙二十四年（1685年），仅有92 000人[9]，比万历年间下降了97%。又如耕地面积大量减少，万历年间全川垦地为134 827顷[10]，到康熙二十四年减少到17 261顷[11]，比万历年间减少了87%。

明代中后期，四川盐井分布广泛，遍及全川57州县。经明末清初战乱，“井圮灶废”“百存不一”[12]，即几乎毁没殆尽，呈现一片残败不堪的景象，“荒废已



极。”[12]川西简州盐场，旧有九井亦被“填塞”废弃①。资州盐井遭兵焚后淤塞。川北南部县的盐场，已于“明末坍塌无存”[13]。川南富义盐场，盐井毁坏严重。明天启年间（1621—1627）以前，“自流井原额三百八十眼……新罗小井原井七十四眼……宋王小井三十八眼，原额盐井四百九十二眼。”[14]经明末清初“兵荒洊臻、民逃丁绝”，“井眼填塞”，到清顺治十六年时，自流井地区盐井“坍塞三百六十眼”[14]，新罗小井淤填“六十四眼”，宋王小井坍塌“三十四眼”，故此，自明末天启到清顺治十六年的30多年间，先后坍塞盐井多达458眼，被破坏的盐井占原总井数的93%，仅存盐井34眼，占总井数的7%[14]。

明末清初，四川盐井遭受严重破坏的情况，正如康熙六年（1667年）四川巡抚张德地给清廷的奏折中说：“产盐之井，又仅存昔之什一。”“此之灶民，不过单夫只妇。即尽力经营，不但煎烧有限，且以所出者半供衣食，半供纳课。”[15]四川井盐承大乱之后，自康熙初年，才开始逐渐零星地恢复生产。“清初承大乱之后，井灶已毁，虽人民开复，然寥寥无多。在川东者则只万县、云阳、大宁、太平、忠州、彭水。在川南者则只富顺、犍为。在川北者则只潼川府属及阆中而已。皆系贫民聚集经营，借谋衣食，所产极微，人烟稀疏，销亦甚少，并无富商大户。”[16]

据上述史实，明末清初，川省井灶遭兵乱淤塞，十分严重，但各地略有差异，主要有三种情况：

第一，井灶全毁。“从前井灶，夷塞无余”[17]，属最严重地区。有川北南部县盐场，“明末坍塌无存”[13]，川西简州旧有九井，全被“填塞”。

第二，井灶基本上被毁，“仅存昔之什一”[15]，“较之承平，十无其九。”[14]如川南富荣盐场，明末原额井数492眼，到清初已停废458眼，先后被毁坏盐井占原总井数的93%。

第三，井灶破坏严重，但比上述两种情况略好。如川东边远山区，云阳、大宁等，因此，清初亦开始先恢复。但“灶民不过单夫只妇……所产出者半供衣食，半供纳课”。因此，产盐极微，销售甚少，“并无富商大户”[16]。

## 二、清初促进井盐业恢复和发展的措施

清王朝建立后，为“裕国课”，保障“军国急需”，巩固统治地位，稳定社会，急需要发展社会经济，尤其亟待恢复和发展盐业。

清顺治年间，基本上是战争环境，清廷尽其全力以镇压各地人民抗清运动，因此，社会经济的恢复和发展成效甚少。康熙帝亲政之后，特别是三藩平息之后，经济恢复才开始次第展开。康熙、雍正、乾隆时期，顺应历史形势，进行了某些改革工作，才使社会经济又恢复和发展起来。[18]在盐政方面，井盐业产、运、销做了较大改革。其具体措施和做法是：“任民自由开凿，遂为人民之私产”[19]；轻徭薄赋，休养生息；“以广招徕”“煎盐开荒”[20]等。这些积极措施的制定和实施，使四川盐业得到了迅速的恢复和发展。

### （一）组织外省移民入川

① （清）《四川盐法志》卷五云：简州“旧有九井填塞，顺治十七年，始招灶户重开”。




我国井盐业的创始、发展、兴盛，始终是同移民入川紧密连在一起的。如我国第一口广都盐井，就是秦派蜀守李冰领导四川民众开凿成功的，至此，便揭开了我国井盐生产的序幕。其后，如汉代四川井盐业的兴起，唐宋时期川盐的兴盛，明代蜀省井盐业的发展，都是同移民入川密切相关的，清代四川井盐的大发展，亦是与移民入川分不开的，因此，移民对川盐的开发作出了重大贡献。

明末清初，由于四川长期处于大规模兵荒马乱之中，致使经济遭到严重破坏，人口锐减，据康熙二十四年（1685 年）统计，全省不过 9 万余人，于是，清初四川出现了如井灶停闭，无民起煎；蜀省有耕之田，而无耕田之民的凋敝状况。清政府针对川省“民少而荒多”[9]，而“湖广、陕西人多地少”[11]的特点，自清顺治十八年（1662 年）始，便由官府鼓励和组织了大规模移民入川活动。“三藩之乱”，中断了移民活动。康熙十九年（1680 年），移民工作更大规模地继续进行，至雍正五年（1727 年）终结。清初“湖广填四川”[7]的移民活动，前后历时 60 多年，所谓“湖广填四川”之说，即以湖广居民为主移民入川。但同时还有陕西、江西、贵州、福建、浙江等省原籍居民入川。雍正五年后，又出现了移民入川，均属非政府组织，带有自由流动性质。经广泛的、大规模的、长期的移民入川，四川人口由清初 9 万余人，到乾隆元年增至约 325 万人，嘉庆十七年（1812 年），急增为 2 140 余万人，四川人口有了迅速恢复和大的发展。

清初要恢复和发展“荒残遮径，蒿莱满眼”的四川盐业，急需要大量的财力、人力及物力。这时，移民入川，带来了雄厚的资金，引进了大批技术人才，提供了大量的劳动力。

1. 移民投资盐业的恢复和开发

四川井盐的钻采，较之海盐、池盐生产条件更为艰苦。后者系地面引卤设灶，即可取盐，较为便利。前者卤源深埋地下，由数十米至千米，因此，凿井采卤耗资甚巨，一般浅井工费以“千计”，深井工费则以上“万计”[21]。同时凿井成功，另置地面车、房等设施采卤，还设灶、笕等煎盐，总计一井耗用白银在万两以上。当时四川井灶遭受战乱毁坏，经济完全崩溃，无力投资盐业。于是，外籍商人挟带雄厚资金投资川盐的恢复和开发，正逢良机。于是，外商大量涌入四川，有陕（西）商、山（西）商、广（东）商、湖（南）商、贵（州）商、福（建）商等①。其中以陕商“资本厚、精心计”、[22]投资多，而具有代表性。

陕商是较大的商业资本集团，腰缠万贯：“四川握社会金融之特权，及放高利贷之惟一金融系统，为陕邦字号，此种字号各县均有。”[23]凭借其“资本厚”的优势，陕商先是进行川盐贩运，“三秦客友，运榷黔滇，连樯万艘”[24]，“水陆兼输，既舟车之千行。”[25]随后又经营川盐销售，“蜀人不谙行盐，产盐既多，即有陕西大贾曰：鹾业入蜀行销。”[1]同时投入巨资购买土地，凿井办灶，在自流井地区开

① 外籍商人在经商发迹之后，为炫耀郡邑，显其富有，以沟通信息，议决会事，于是，便纷纷自发建立组织，在自流井街区修建了各种会馆——同乡会馆。如，陕西商人修建了“西秦会馆”；湖南、江西商人修建了“禹王宫”；广东商人修建了“南华宫”；贵州商人修建了“霁云宫”；福建商人修建了“天后宫”等庙宇。这些林立而又华丽会馆的修建，正是反映了清代外商云集自流井凿井烧灶、开办钱庄等行业的盛况和历史见证。



凿大量的黄卤、黑卤、岩盐及天然气井。如燊（兴）海井、发源井、磨子井、海顺井、三生井、大荣井等。清雍正、乾隆时期，陕商经营盐业，已聚集了巨大财富，达到了极盛，在自流井设盐号多至119家，并成立了经营盐业的组织——“西秦大会”。为“款叙乡情”，显其豪华富有，“西秦大会”又集巨资“工费壹万（白银）有奇”，[24]于清乾隆元年（1736年）动工兴建，到乾隆十七年（1752年）竣工，历时16载，在自贡建成了殿阁巍峨、金碧辉煌、耀眼夺目、古色古香的“西秦会馆”，又名陕西庙、关帝庙。道光年间，再耗费四万余两银子以改修和扩建西秦会馆。此馆建筑艺术、构筑风格奇特，谓之“川南一绝”。于1988年1月13日，经国家批准为全国重点文物保护单位。陕商大量投资川盐业，到清中后期占据绝对优势。

2．移民为开发川盐提供了大批廉价劳动力

清初，四川遭受连年战火，人口锐减九万余人，移民入川为川省工农业生产提供了大批廉价劳动力。当时，大量移民乘川江大船由汉阳而上，“以十日总计，河岸之逗留不能行者常三四千人，月计万矣。”[26]外省居民入川，一部分人进入盐场，成为工匠。据《清高宗实录》（卷七）记载：入川移民，除“种地外”，多以“盐井、铁厂、纸厂、煤厂佣工为生。”《四川盐法志》（卷一二）载道：“滇、黔、陕、甘流民佣工井灶，借以营生，尤不可胜计”。清乾隆、嘉庆时期，由于清初大量移民入川，加之蜀省自然人口的增殖，四川盐业恢复和发展，大厂盐工队伍“以数十万计”“大盐场如犍（今乐山）、富（今自贡）等县，灶户、佣作、商贩各项，各厂之人，以数十万计。即沿边大宁、开县等厂，众亦万计。”[26]李榕在《自流井记》中亦说担水之夫约有一万。盐船之夫，又数倍于担水之夫。担盐之夫又倍之。盐匠、山匠、灶头，操此三艺者约一万人。加上其他为盐业服务的杂工及有关行业，“合得三四十万人。”为此，移民入川，为恢复和开发川盐业，提供了大批廉价劳动力。

3．移民入川引进了大量的技术人才

清代井盐生产，主要技术工种和科技人才，李榕在《自流井记》中做了简明的记述：“盐厂的管事有四：规划形势，督工匠以凿井者，为井之管事；综核水火（即卤水、天然气）计成数以烧盐者，为灶之管事；安置竹笕、由近及远以达咸水者，为笕之管事；储盐运盐行水陆以权交易者，为号之管事。井、灶、笕、号四管事，业盐之重任也。”在井、灶、笕、号四大业务中，又以凿井最难，因此，井管事（即相当于今技师职称）居其重要地位。外籍人中，贵州人善于钻探盐井，精通凿井技术，并且成为开发川盐的主力军。凿井匠皆黔省人，黔省人精于此道，“洵称绝技。”[26]古代工匠，判断钻头在井下粉碎岩石的情况，钻至上1千米的深井，井筒伸直、圆滑，即高质量的盐井，谓之“绝技”。福建人林启公入川后，在古老的输卤方法基础上进行了重大的改进，以卤笕代替人力，即利用竹笕输送卤水，大大改善了盐场运卤条件，减轻了工人劳动强度，提高了工效，人称“盐场大动脉”。这对于提高生产力，促进盐业的发展，有着积极的作用。

4．经营盐业发迹的外籍盐商

四川盆地，卤水、岩盐及天然气矿产资源蕴藏极其丰富，移民入川后，有的





从事盐业经营或凿井，或兴灶，或运销，或二三者兼备，经过不平的坦途，尔后发迹盐场，步入巨商之列，成为有名的盐商大贾。四川盐商甚多，其中发迹成巨商的有王三畏堂、李四友堂、颜桂馨堂、胡慎怡堂等（上为家族堂名），简介如下。

王三畏堂：其祖先于明末清初，自湖北迁居四川富顺县自流井，世代以经营井盐为业。当其极盛时期，在自贡盐场拥有卤井、天然气井数十眼；开设盐号远及重庆、宜昌、汉口、沙市、洋溪等地；田土乡庄遍及富顺、威远、荣县、宜宾等数县，年收租谷 17 000 余石，因而有“富甲郡邑”、“富甲全川”之誉称[27]。

李四友堂：李氏家族系于元末明初由河南固始县移民富顺鸿鹤镇（今自贡市），其盐业历史早肇于明代，但发迹于清代。鼎盛时期，先后开凿盐井、天然气井 100 余眼。天然气由 500 口增至 800 余口（折 5 ~8 万立方米/日），卤水数 1 000 担（折卤水 1 000 立方米/日左右），年收租谷五千余石。井、灶、笕、号皆备，其总计资本逾百万，仅次于王三畏堂[28]。

颜桂馨堂：颜氏家族于清雍正十一年（1733 年），由广东海丰移至四川威远县连家冲定居。先垦荒务农，后移居自流井经营盐业。共计开凿水火井 140 多眼，日产卤水 1 000 余担（折今卤水约 140 立方米/日），常年煎锅 500 ~600 口（折今天然气 5 ~6 万立方米/日），井、灶、笕、号齐全，由于经营有方，跻身于自贡盐场老四大家族之列，名赫一时[29]。

胡慎怡堂：胡氏家族于清嘉庆年间（1796—1820），从江西庐陵（今吉安）移居四川自流井。胡家先贩运棉花，并与他人合伙经营盐业积累资本。其后，采取“以井创井，独资经营”的办法，逐渐巨富。顶峰时期，胡家有盐火井 20 余眼，雇佣工作人 1 000 多人，推卤牛只 500 多头，年收租 5 000 ~7 000 余石，运盐资金及现银额 30 多万两[30]。

吴德嵩，“吴景让堂”家族创始人，于清道光十二年（1833 年），由湖南常宁县入川移居乐山五通桥。吴家经营盐业 30 余年，迅速发展成为犍、乐地区最大的盐商：拥有井、灶、盐号、煤矿、炭垣等 29 个单位，其他厂、号 14 个单位；尚投资业务八处；田地房产遍布川江下游，雇工上千人，累计资金超过“百万”，名振全川[31]。

（二）实行凿井生产及运销三大自由

清初朝廷为尽快地恢复和发展川盐生产，则推行了宽松的盐政，允许民众自由凿井、自由生产、自由运销，确立了川省盐业井、灶、运、销私人体系，“已表明生产资料所有制的根本变化。”[13]这些政策使井、灶户得以“休养生息”。因而，促进了川盐业的迅速恢复和全面发展。

1. 自由凿井为民私产

“蜀省之盐皆产于井，必须相山寻穴，凿石求泉而井始成，开凿艰难，每一井常费中人数家之产。”[19]可见，每开凿一眼新井，需耗用大量资金——“数家之产”才能凿成。当时四川经兵荒马乱后，财力奇缺，因此，清政府放宽政策，由民间投资，自由凿井，为民私产。开凿新井，给予优惠政策：“应照开荒事例，三年起课（即免税三年），以广招徕。”[19]乾隆四十九年（1784 年），四川盐茶道林



俊为调动井灶户的积极性，于是，进一步放宽政策，“听民穿井，永不加课，蜀盐始蹶而复振。”[1]“明以前井、灶多由官办，后虽改招灶户，仍然设有官监之。自清初则任民自由开凿……国家只就井、灶而征以课，就引盐而榷以税，与历代盐法遂有不同耳。”[16]自由开凿盐井的推行，川省私井数量猛增。严如熤深入调查后则认为：“川中产盐之区，额设井灶固多，私井亦数倍于官。”[26]至清末官方的统计，私井则是课井的十余倍：“该省各盐厂内有案可稽者，井八千八百二十一，灶六十六座半①，锅五千三百一十一口。现时查出者，井十万零八百一十四眼，灶七千九百四十三座，锅二万五千九百一十三口，其遗漏未经查出者，尚不在内，是私井、灶较原额已不啻十倍。”[32]私井急剧地增殖，盐井向地层深处发展，推动了钻井技术日趋完善。

2. 自由生产和运销

清朝以前盐政主要有控制灶户产盐、官督商销、定区销盐等限制。自清初起，川省盐业的生产和运销是比较自由的，“在清代以前，四川井盐业作为最重要的基本生产资料的井灶，皆由官置，掌握在官府手里，其生产经营也是由官‘募灶丁煮盐办课’，盐的运销由官控制，由官专卖。到了清代，这种情况便发生了根本的改变，废除以前官府直接对井盐的垄断控制，使它成为民间的一个自由业，即‘任民自由开凿，遂为民之私产’。”[13]“听民自领自卖，颇为简便。”[33]清政府鼓励民间开凿私井，采卤煎盐，行千里，运销各地，已成为民众的一种自由业。

康熙三年（1664年），四川巡抚张德地在《四川盐课疏》中规定：“不拘大商小贩，通行无滞。裕国通商，法至善也。”[15]并对私井的限制大为放松：“私盐船自夔至楚者，官素不甚禁，以活穷民。”[34]雍正、乾隆年间也政令：凡贫穷老少男妇，贩运四十斤以内者概不许禁，即“不在禁约之列”[35]。嘉庆十七年（1812年），仅川省重庆一府，专商甚少，而民贩运者众至“十余万人”，当时川峡总督常明说：“以重庆一府计之，商人不过数十户，而赖（即自由贩运）盐以生者大约不下十余万人，以数十家温饱之故，绝十余万人衣食之源。”[36]常总督则建议实行“盐课归丁，任其民运民销”[36]。因而，食盐销区不断扩大，雍正、乾隆时期，除销本省30余州县外，还远销湖北、贵州、云南等省。

（三）减免井盐课税

明末清初的战乱，使四川井盐基本上毁于殆尽。清廷为迅速恢复井盐生产，征收盐课，以裕国库。采取轻徭薄赋，休养生息的措施，即酌情减、免、缓征盐课。顺治四年（1647年）政令：“今当混一之初，尚在用兵之际，兵必需饷，饷出于民，将欲减赋与惠民。”[37]紧接着在顺治六年（1649年）又令：“自兵兴以来，地荒民逃，赋税不充，今欲休养生息”，使“民足国裕”[38]。顺治十七年（1660年），四川巡抚张所志奏疏清廷批准：“贫民易食盐，应令四十斤以下者准免课税，四十斤以上者，仍令纳课。”[39]

雍正十二年（1734年），川陕总督黄庭桂、四川巡抚宪德主张“查实”全省盐井数目，然后对废旧井、坍塌漏井等不能修复者，核实“开除”，按实数生产井

① 灶座数，恐有误。

纳课，免除井灶户“干赔”。同时还规定，在生产中如陆续有盐井损坏或干枯，照样开除，这种实事求是的政策，极大地调动了井灶户的积极性。其具体办法：“凡有废坏无用，坍塌渗漏，修补不能复旧之井，开明引盐数目，……照重粮例分别开除。倘从前井口或有多报之处，亦令一并查实取结，照例开除。后有枯涸坏盐井，仍令陆续详报，咨部开除。”[40]

乾隆年间政令：“新开盐井，按下井征课”（即按最低的一等课）。如，“乾隆五十四年（1789 年），新招灶民黄袁顺等，谕以开井增课，始照下井之例，下锅一口，承正课银二两。”[41]乾隆四十九年（1784 年），全川亏损课 20 余万两，清廷责令四川盐务当局，“限期完纳”，四川盐茶道林俊推行“听民穿井，永不加课”的措施，以新井补旧课，“奏限十年归纳，俊为设法甫成，及九年而积欠悉完”[42]，结果收到预期的效果，并且产生了深远的影响。川盐课税负担较轻，“蜀盐正课最轻。”[1]川盐无论水引或陆引，每斤负担引税均不足六毫；而两淮、长芦则为三厘八毫[43]。至于“羡余”即超正额的浮收部分，“一水引征羡银六钱，一陆引征羡银四分八厘。”[19]以二者“正课”和“羡余”合计，川盐引税比其他各省还是很轻的[43]。

清初，川省盐务官僚机构精简，全川“产盐之区三十有五，亦未设立管盐专官。一切盐政由守巡道兼理而受成于督抚也”[16]。“至乾隆初年，而四川之盐务大备焉。然无盐政，以总督兼管无运司，以茶道改为盐茶道。无场官，以州县代理。”[1]凡每年总计开支“盐官俸禄”约 6 665 银两[44]。于是，大为减轻了盐税，减轻了生产者和消费者的负担。

综上所述，清代前期，由于采取了有利于生产的政策措施，因而使四川井盐业有了迅速的恢复和大发展。据康熙二十四年统计，全省 26 州县先后开凿纳课盐井计有 1 182 眼，至雍正八年，产盐州县盐井增至 5 946 眼，到乾隆十八年急增为 7 704 眼，较康熙时增长 6. 5 倍。盐引岁额，雍正九年为 72 195 张，到乾隆十八年增为 115 185 张，前后约增 60%。川盐产量，雍正九年已达 92 277 840 斤，创历史最高纪录[13]。

## 三、清中后期井盐业资本主义的萌芽

在我国明代后期，由于商品经济的发展，某些行业产生了资本主义萌芽，如苏州地区的丝织业，“机户出资，机工出力”，报酬“计日受值”[45]。这种雇佣和被雇佣的关系，具有资本主义关系幼芽的典型意义。到清初，在江南地区，具有资本主义萌芽的手工业部门，虽比明代增多了，但腐朽的封建制度严重地阻碍了资本主义萌芽的成长和发展。尤其到鸦片战争以后，外国廉价的机制商品大量倾销我国市场，许多手工工场破产，这株资本主义幼芽遭到扼杀，处于岌岌可危的境地。我国惟有四川盐业，未受到外国廉价商品的冲击，却获得独立的“持续”发展。从而在我国手工业资本主义的发展史上，提供了一个“典型”的行业。清乾隆、嘉庆时期，已具有手工业工场的规模了。从道光至清末，富荣盐场，由于生产规模的庞大，劳动细密的分工，雇佣劳动的普通化，盐业开发技术的精湛，商业资本等转化为盐业资本，投资的剧增，于是，工场手工业得到充分的发展。



在全川盐业各个手工业工场中，富荣盐业资本主义萌芽程度最高，更具有代表性。

（一）富荣盐业资本主义的萌芽

富荣盐业资本主义的萌芽，以工场手工业为主要的形式[46]。虽然，早在明代后期出现了私人井灶，且“私人井灶有所发展”，但是，“资本主义的萌芽时断时续，履步艰难，明末战乱遭摧残”[47]，险境丛生。清初“承大乱之后，井灶已废，人民开复，然寥寥无多”[16]。产区甚少，出盐极微，并无富商大户。由此，清政府为鼓励和扶持井盐生产，确立了私人井灶生产的合法化，川省盐业得以较快地恢复和发展，如康熙九年（1670 年），全川销盐 800 余万斤，到雍正、乾隆之际，川省销盐急增至 9 184 万斤[48]，盐产量开创了历史（清代以前）的最高记录。乾隆后期，川盐实行了更宽松“永不加课”的政策，极大地刺激了私井的猛增，也促进了川盐生产的大发展。自此，富荣盐业生产进入了一个崭新的时期，于是，在乾隆、嘉庆时期，已突破了资本主义简单协作的作坊形式，从而便跨入了工场手工业阶段，产生了资本主义的萌芽。

1．商业等资本向盐业资本转化

商业、高利贷等资本开始广泛地向盐业资本转化，乃是井盐业手工工场出现的一大特点。

在四川，外籍商人来此经商者颇多，其中以陕西和山西商人为代表，他们从清初开始，至乾隆、嘉庆时期，已形成资本雄厚的商业和高利贷资本集团。但又以陕商资本最雄厚，占绝对优势。商人财团在四川和富荣地区涉足与盐业有关的领域，主要有以下三方面。

一是开设钱庄。钱庄“川省字号，多属陕客”[49]。四川三台县开当铺有两家：“皆秦人于康熙三十六年开设，……获利最厚。”[50]“自流井钱庄，远肇于前清雍正、乾隆之际。……其调剂金融，皆操纵于典当商之手。”[51]陕商在富荣地区开设字号，自流井中心的商业、金融街，著称“八店街”，由清代陕西商人八大商号而得名。继后，山西商人在此地开设的“四大亨”和“宝丰隆”号也有较强的实力。而富荣地区的“银钱业系以井盐业的产、运、销为轴心运转，其盛衰与盐业经济的荣枯相关，故此，地区的金融业在很大程度上可以称作是盐业金融”[52]。因之，富荣盐业与钱庄关系，素有“盐、钱两帮”，或“盐、钱两业”[52]之并称。

二是插手食盐运销。陕商凭借资本雄厚，租引代销，为拓展市场，不遗余力。载盐“万艘”，运销“滇、黔”[24]。

陕商拓展市场的方式和路线“乃由黔浸灌，而湘而粤而滇。”[53]从盐运方面看，由雍正定引之后，到乾隆十七年西秦会馆建成，是陕商第一个兴盛时期；又由乾隆后期至嘉庆初，则是陕商运利达到高峰时期[22]。陕商在井盐运销中，获利丰厚，并积累了巨额财富，于是，陕西等盐商便开始向井灶生产领域扩展。

三是投资井灶。由于井盐业的发展，钻井技术的进步，加之当时盐政的放宽，课税较稳定，投资井灶生产能获厚利。为此，在乾隆、嘉庆时期，出现了富商纷





纷投资井灶领域，主要内容有：他们直接投资凿井，或通过佃煎井灶，或采取买卖井灶等方式兼并井灶，商人以后二者方式兴井烧灶，即可获得立竿见影的经济效益。

尽管盐商以各种方式投资井盐生产开发，但投资凿井，开采地下新的卤、气资源，对于发展井盐生产，具有举足轻重的作用。因此，这是一种最基本的投资方式。在富荣盐场，通常分为独资凿井及合资办井两种主要形式。但由于凿井工程复杂，工期漫长，耗资巨大，所以盐商独资凿井者皆少，合资办井者居多。所谓合资办井，即盐商（以两家或多家合伙）出资凿井一切费用，作为一种投资；本地地主以自己拥有的土地，或井户以自己原有的旧废井（包括井场设备、井眼等）作为另一种投资，同商业资本结合起来，组成租佃关系，并立约为据，待凿井见功后，按约规（股份）派分地脉水火，如，清乾隆四十四年（1779 年），由商人蔡灿若等“出工本”费，地主王静庵“出地基”，平地新办同盛井[54]；嘉庆元年（1796 年），商人刘坤伦，张仕换合作投资，地主谢晋昭出土地，开凿新井一眼，取名天元井[55]；嘉庆八年（1803 年），商人陈三锡、林振仑、刘坤伦、颜鸣凤四人出首投资，承写到天后宫所置凤来山地基，新凿天圣井[56]；嘉庆十三年（1808 年），商人王某出资 1 450 两白银，开凿兴海井；道光初，陕商（典商兼茶商）高某投入巨资 3 000 两白银与李四友堂合办联珠井，获黑卤较丰，利润陡增数倍[28]，等等。可见，商业资本和产业资本结合，促使乾隆、嘉庆时期富荣盐业步入工场手工业阶段，起到了积极作用。

2. 清乾隆嘉庆时期工场的规模

初期的井盐业手工工场，考察其资本主义萌芽的性质，首要的是考察其生产规模具有重要意义。而井盐生产的规模，乃是以一眼井能采卤、气资源多少，烧锅口多少，煎制食盐多少，雇佣员工多少等来决定的[47]。

富荣（自贡）盐场历来虽有井户、灶户之分，但根据生产经营方式，主要有三种形式：第一，井户。所谓“井户”，既有井无灶，专门从事经营凿井汲卤，卤水作为商品出卖，不设锅灶煎盐；第二，灶户。所谓“灶户”，即有灶无井，买卤煎盐；第三，井灶户。所谓“井灶户”，既有井又有灶，从经营矿山凿井汲卤，到设灶煎盐全过程。清代前期的富荣工场，则是以第三种经营形式居主导地位。但由于该区的地下卤、气资源富集和分布，是受地质条件的控制，加之当时的生产力水平所限，因此，井灶户在何处凿井发现有生产价值的卤、气资源，便随井场建灶、置锅、煎盐，人称“就井设灶”[47]，即以一个井场既推卤又烧盐，推煎合一，一井一场的生产形式。

清初，富荣盐场受战争兵火的破坏，井盐生产开始恢复时期，井浅、卤淡、盐微，手工生产还是一种简单作坊形式，因此井灶卤盐产量很低，如顺治十六年（1660 年），自流井地区“实在现煎盐井二十眼，煎锅五十零半口”[14]。若以此推



算，平均每眼井日产卤水约13担①，仅供烧盐锅2.5口②，煎盐250市斤（折125千克）左右。到乾隆、嘉庆时期，由于工场技术的进步，工种明确分工的出现，为此，富荣盐业比清初有了新的发展，如贡井地区更加显著。雍正八年（1730年），有卤井17眼，烧盐锅283口，平均每井烧锅16.64口[57]，日产卤水在66担以上，一昼夜煎盐约1 700市斤（折850千克）。乾隆二十三年（1758年），有井16眼，烧锅313口[57]，嘉庆十七年（1812年），有井24眼，煎锅509口。[57]乾隆、嘉庆时期，平均每日井烧锅20至21口，日产卤水应在80担以上，昼夜煎盐2 000市斤（折1 000千克）左右。

但自流井地区井卤产量一直比贡井地区低，如雍正八年（1730年），有井281眼，烧锅472口，[57]则平均每井烧锅仅1.67口，日产卤水约8担，昼夜煎盐200市斤左右（折盐100千克）。乾隆五十六年（1791年）凿井约规云："新凿荧（荣）海井分班后，昼夜水火叁拾天，载课锅肆口，……立此为据。"[58]凿井见功，按烧锅4口计，则每井日应当20担左右，昼夜煎盐400市斤（折盐200千克）。而乾隆、嘉庆时期，自流井地区仍有中型卤井生产，如李四友堂的父亲辈有卤井四眼，即丰泰、高楼、中兴及高坎，每井日产卤水"数十担"[28]。至道光初，丰泰井还日产卤水"四五十担"[28]，则平均每井烧锅10口，昼夜煎盐1 000市斤（折盐500千克）。由上可知，乾隆、嘉庆时期，富荣的井灶工场生产规模为：荣县贡井地区，每井日产卤水在80担以上，烧锅20口左右，昼夜煎盐约1 000千克（折盐1吨）。富顺县自流井地区，单井日产卤水在20~50担，煎锅4~10口，昼夜煎盐200~500千克（折盐0.2~0.5吨）。

乾隆、嘉庆时期，富荣地区井灶工场，即"随井设灶"，一井一场的生产方式。一个工场员工多少，史料中无明确记载，不过，各种类型残存的工场，至民国时期还可见到，乃建国后（1956年），自贡仍残存着[59]。自贡一直存在众多的个体井灶户，今称"个体盐民"[59]。按其井灶经营的形态和特点，大致分两种类型：一是小型井灶户，是一种"自办煎烧"经营方式，一般经营一些300~400米

① 担：自贡盐业行业卤水计量单位。因时期、地区、卤种而异，没有统一的标准，颇为复杂。担由考咸碗或简称"水碗"、"碗"（即卤水最小计量单位）积数而成。所谓"碗"，是竹制的量卤器，形如竹筒，口薄腹鼓，上下内径相等。因咸量之不同，每碗重量亦不同，一般情况是：岩卤咸量，每碗三两六钱，其碗容量约十三两；黑卤每碗咸二两二钱，其碗容量约十二两；黄卤咸重一两三钱，其碗容量十两零三钱。上述以碗容重计算每担重量：富荣东场（自流井）黄卤330碗一担，重212市斤（折106千克）；黑卤260碗一担，重195市斤（折97.5千克）；岩卤384碗一担，重312市斤（斤156千克）。富荣西场（贡井）黄卤396碗一担，重255市斤（折127.5千克）；黑卤360碗一担，重270市斤（折135千克）。以下有关"担"计量单位与此同，不再注释。

② 口：即卤气的计量单位。据清同治十年吴鼎立《自流井风物名实说·附：桐龙新长四　当地主与客人所做客井，子孙井三十班井规》述道："邱垱谓之日分，凡井每月三十天即三十班，其承出佃字云：主客以水火四口起班者，火四口即火足供四灶之用；水口之说，以火灶每日须煎水二十担，见功之水足供四灶之用，四口者即八十担也。"如按平均每灶日煎水20担计，则乾隆、嘉庆时期每井有锅20~21口，一眼井日产水应400担左右。按当时的生产水平，不可能有如此的大型卤井。水足四口即八十担，则应是清后期主客凿井见功，按约规停凿起煎（火灶）、分班的计量标准。另据凌耀伦《论清代自贡井盐业资本主义手工工场的发展》文云："时自贡烧盐以柴炭作燃料，每锅一昼夜可烧四五担水，出盐百斤左右。"此说较符合清前期锅口煎盐用卤的实况。以下有关"口"计量单位，与此同，不再重注。

深的浅井或老井，日产卤水数担或10～30担不等，“就井建灶”。其中烧锅1口者，日产卤水仅几担，煎盐约100市斤（折盐50千克），只需3～5人即可，多数没有雇工，少数雇工1～2人；煎锅2口者，有职工十余人，养（推水）牛几头，日产盐200市斤（折盐100千克）；日产卤水20～30担者，煎锅四口以上，昼夜产盐500～800市斤（折盐250～400千克），应有职工20人以上。二是中型井灶户，日产卤水50～60担，昼夜产盐1 000～1 500市斤（折盐500～750千克），需要职工30～40人以上；日产卤水80担以上，烧锅20口左右，日煎盐2 000市斤（折盐1 000千克）以上，应有职工50～60人。综上所述，清乾隆、嘉庆时期，经营一个井灶工场，需有职工人数，少者3～5人，多者有60人以上，一般当在20～50人的规模。列宁明确指出：五个工作者给予老板创造了如此之多的剩余价值，他在某种程度上摆脱了手工劳动。如果雇工十人或者超过这个数字，这时，老板完全丢开了手工劳动，他已经变成小资本家，真正的大老板了。列宁在深入研究和详细统计工场手工业的作坊数目时，并把雇工20人以上的作坊称为“大工场”[60]。显而易见，乾隆、嘉庆时期，富荣的井灶作坊，一般都大大突破了资本主义简单协作时期作坊的规模，已具有手工工场时期的规模了[47]。

3. 井灶工场的分工

分工是工场手工业的基础。考察一个作坊内部有无明确的分工，乃是一般简单协作作坊与手工工场区别的重要标志。

前已述到，在富荣残存的“自办煎烧”作坊里，仅日产井卤数担，煎锅一口，员工3～5人，汲卤和煎盐两大工种没有分开，一个工人既汲卤又煎盐，还挑水、运盐等，各种工种“一脚代”。即是雇工1～2人，这与“行会师傅的作坊”分工上“几乎没有什么区别”[61]。这已反映出“初期的工场手工业”[61]简单协作作坊的特点。但清乾隆、嘉庆时期，一个井灶工场的规模，已扩大到日产卤水20～30担，煎（盐）锅四口以上，职工20余人，工场分工情况就起了显著变化。这时，井场车房工人的职责是推汲井卤，为灶上提供原料；而灶房工人把卤水加工成产品（食盐）。为此，井房和灶房已如一个工场的两个车间，井上汲卤工种和灶上烧盐工种严格分开。在这样的工场里，井房有职工10余人，开车工、拘水工、幺牛工等有明确分工。灶房烧盐也需8～9人左右；煎盐工、运卤工等也“各司其职”。整个工场还设有掌柜、财会、外场等行管人员，此外，还雇佣临时杂工若干。因此，这种工场显示出手工工场的特征。如若一个井灶工场的规模，再扩大到日产卤50～80担，烧锅10～20口，有职工40～60人，全工场工种增至20余种，这时，汲卤工、开车工、烧盐工等将成为工场专门的职业，长期固定性的工种，乃至终身的专业[47]。

（二）富荣盐业资本主义萌芽的增长

道光至清末（尤其咸丰、同治年间），则是富荣盐业资本主义萌芽增长的时期。这一时期，由于深井卤气资源大量的开发，生产规模的宏大，雇工人数众多，劳动细密的分工，盐商投资的猛增，出现了一批大工场主，于是，工场手工业得到充分的发展，从而步入了机器大工业生产的前夜[47]。

1. 深井黑卤和天然气大规模的开发，为资本主义萌芽的增长奠定了物质基础



生产力的提高是社会生产发展的基石和动力。在富荣矿区，深井黑卤和天然气大规模的开发，则是富荣盐业大发展和繁荣的重要标志，同时又是深钻技术发展到高峰的产物。清代深钻技术在明代的基础上，不断进行改进和革新，已臻成熟，如，钻治井工具巧夺天工，种类齐备，出现了钻井、治井等工具群，计100余种。同时，凿井工艺亦相当完善，从定井位到凿小眼等严格划分为九道工序，每道工序都有细密的分工和使用不同的下井工具。深钻技术的进展，使富荣地区的井深不断增加，到鸦片战争前夕，盐井深度突破了千米。从此至清末，千米或超千米深井普遍出现，为大规模开发深井黑卤和天然气提供了可靠的保障。

清嘉庆后期（1815年），富荣地区的井深已钻到近800米，初始进入黑卤层（三叠系雷口坡组顶部），道光中叶井深超过1 000①，钻开了深部黑卤层（嘉陵江组嘉五段），卤水显示良好。之后，深井黑卤的开采和发展，遍及富荣矿区。据史载和调查，该区黑卤的富集、开发，主要集中在两大区域，一是贡井地区，如伍家坡、黄石坎、长土等；二是大安地区，如，蒋家沟、大坟堡等，尤其大坟堡黑卤甚丰，仅1.2平方千米内，黑卤钻采井超过了80多眼。清代黑卤井的深度，一般900～1100米，要比黄卤井深约300～400米。每井日产卤水，少者数十担，多者自喷高产井达“千担”[21]，一般井产卤100～200担[62]。黑卤咸量约在180克/升～250克/升，比黄卤咸量净高出1～2倍。由于黑卤水丰咸重，每锅产盐率大幅度提高，同时耗能（源）又低，因此，黑卤备受重视，而大量的黄卤井自然遭受淘汰或停产，仅有少数高产黄卤井暂保留下来，[62]如，19世纪90年代，贡井黄石坎采区有黄黑井计27眼，其中黑卤井为22眼，黄卤井留存五眼，可见，黑卤井生产占绝对优势。因而，深井黑卤取代浅井黄卤，则是富荣井盐生产能力的一次大飞跃，也是清后期富荣井盐生产上显著的特点。

富荣矿区天然气的开发和利用，可谓与卤水同步，最早起源于北周武帝时。至明代万历年间，自流井地区大量的凿井汲卤、采气，一眼气井可烧锅十余口，到清乾隆二十三年有气井十眼，至嘉庆十七年，增加到三十三眼。不过，这些气（火）井深度约在700米以上，属于浅井气层，一般单井日产气量1 000立方米左右。从道光至清末，随着千米深井广泛的出现，于是，深井天然气的开发进入了一个新的阶段。这时，富荣矿区天然气大规模地开采，主要集中在自流井地区，包括珍珠寺、竹林弯、火井沱、郭家坳，土地坡等采区。这些采区，天然气蕴藏丰富，单井产量高，如，海顺、海旺两有火500余口[28]（折气量50 000立方米/日②），双全、隆盛两井有火600多口[63]（折气量60 000立方米/日），源流、老双宏两井有火约1 000口[63]（折气量100 000立方米/日），等等。为此，富荣煎盐多用天然气，炭灶日趋减少，“取火为烧料者占9/10，炭火占1/10”[51]。到清末，富荣有火灶4 584口，炭灶仅为880口[57]，足见，火灶煎盐雄居统治地位。以火灶取代炭灶，即以天然气新能源代替烧炭煎盐，反映出这一时期，富荣井盐生产技术又有了新的突破和高度的发展。

---

① 见本卷第一章第一节“三、清代钻井技术的完善”。

② 一口火，昼夜产气按100立方米计（以下皆同）。





这里，还要提到富荣盐业史上的一件大事：清后期，自流井大坟堡岩盐矿体的发现和开采，为富荣盐业生产增添了丰富的优质的新卤源，改变了二千多年以来井盐生产长期仰依地下自然卤水的局限，这是井盐史上重大的事件[47]。同时，为了深井岩盐推卤的需要，充分挖掘地下岩盐资源的潜力，于是，商人欧阳显荣与汉阳周恒顺五金工厂合作，研制成功蒸汽卷扬机汲卤，从此，开辟了井盐采汲机械化的道路。机车汲卤使单井生产能力成倍提高，达到人们手工劳动无可比拟的高度，并对现、近代井盐业产生了重大的影响。

2. 工场规模的庞大

入清以后，富荣盐业有了长足的进步和发展。道光到清末，富荣盐业生产力获得极大的提高，从而促进了井盐生产突飞猛进的发展，盐业空前繁荣，工场规模十分庞大。清道光时，正如著名学者严如熤在《三省边防备览》（卷一〇）中所云："四川货殖最巨者为盐。川北之南部、西充、射洪、乐至、蓬溪；川南之犍为、富顺、荣县、资州、井研；川东之忠州、云阳、开县、大宁、彭水；川西之简州、上川南之盐源，州县著名产盐者二十余处。……大盐厂如犍、富等县，灶户、佣作、商贩各项，每厂之人数以数十万计。"当时，全省著名井盐产地有"二十余处"，而其中以富顺（自流井）、犍为冠名"大盐厂"，"每厂之人数以数十万计"。可见，富厂盐业生产规模之庞大。

清同治时，进士李榕来到川南富荣盐场考察，亲睹了宏伟的盐场，他在《自流井记》里写道："盐匠、山匠、灶头，操此三艺者约有万。"此说的"盐匠"即烧盐技工、"山匠"即钻井技工、"灶头"即专门设计输气、建灶技师，从事"三艺者"，仅指的技术工匠，为盐业生产不可缺少的专业人员，总计约一万人。这不包括庞大的运卤、抬盐、杂工等数以万计的人员。

四川总督丁宝桢主编《四川盐法志》（卷一二）时，调查和统计富荣盐场的盐工数为"托井灶为生者，即自流井一处，已不下百万众，加上船工水手，又不下数十万余。"由此可见，随着富荣盐业生产规模的不断扩大，盐工队伍亦日渐壮大。"百万"盐业工人，可能统计过多了，但20万人左右是可信的，若加上为盐业服务的其他附属行业人员，30～40万人是有的。在四川富荣等盐场上，有数十万盐业劳动者，其声势之浩大，场面之壮观，在人类历史上，实属罕见。非一般纺织行业、丝绸行业可相比的。

清咸同至清末，富荣盐业达到鼎盛，一个工场规模非常庞大：有卤气井数10眼到100余眼，喂牛1 000多头，日产卤水1 000担以上，烧煎锅700～800口，昼夜盐产量近100 000市斤（折约50吨），雇佣员工1 200～1 500人[27]，这比起乾隆、嘉庆时期一个工场规模有了巨大的发展。

富荣盐业生产规模，还表现在为盐业服务的其他辅助行业得以相应地产生和发展起来。于是，富荣盐场出现"百业兴旺，市场繁荣"的景象。李榕在《自流井记》中做了简明的记述："巨金以业盐者数百家；为金工、为木工、为石工、为杂工者数百家；贩布帛、豆、牲畜、竹木、油、麻者数千家，合得三四十万人。"这些"数百家"、"数千家"辅助性行业，组成了一个以盐业为主体的庞大行业体系，这从另一个方面反映出井盐生产巨大的规模。



3. 劳动细密的分工

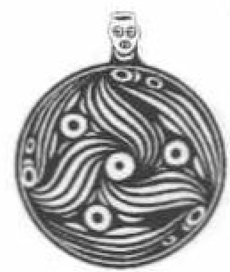
盐业生产高度的发展，工场规模的庞大，吸引了大量的雇佣劳动者，按工种技术的高低和繁简，自然形成了众多的工种，劳动细密的分工。

（1）工场内部井、灶、笕、号的大型分工（即相当于今车间或工段级的分工）。这级分工，清代在四川富荣（自贡）盐场，更具有代表性及独到之处。大工场生产经营的范围，主要包括四大业务——井、灶、笕、号，从盐（气）井采输、煎制到运销，已形成自给自足的产、运、销大而全一套完备的体系，便能达到可战可守，此衰彼盛，生生不息的状态。科学的分工，促进了井盐业的繁荣和发展。

工场内大型分工，以李四友堂为例。四友堂工场上设“总办”，总揽（管）全场生产业务。在总办之下，分设井房、灶房、笕房、字号、大柜房五大生产业务体系。此五大业务，既是分工独立，又是紧密相连的。其一，井房即井矿部门，专职业务管理凿井、设卤、采气，广辟卤（生）源，以满足灶上制盐的需要。因此，井房是工场五大生产业务的龙头。其二，灶房即烧盐的部门。《自流井记》云：“烧盐者曰灶房。”为此，灶房专职业务是将卤水煎制成食盐（商品）。其三，笕业即专营卤水的买卖和输卤的业务部门。由于井灶分离，为长途输卤的需要，因此，笕业应运而生。四友堂创办的大生枧，从贡井输卤到自流井郭家坳，每日输卤3 000多担，成为当时富荣盐场兴旺的十大笕之一。大生笕歇业后，又开办卿云笕，从大坟堡输岩卤到郭家坳煎盐，又成为清末盐场著称的八大笕之一。笕业脱离井灶，独立经营，自成体系，则是这一时期工场内部分工高度发展的重要标志，也是与乾隆、嘉庆时期分工的显著区别。其四，字号即运销盐的业务部门。专门运盐到口岸（川省内外市场），销售经营。其五，大柜房即专管乡庄田产的业务部门。上述五大业务部门，其中井、灶、笕、号四大业务，则是工厂生存和发展的关键。

（2）工场内部细密的分工（即相当于今班组级的分工）。工场有大型的分工，必然有细密的分工。对此，清人温瑞柏在《盐井记》里，有翔实的、绘声绘色的描述：“其人有司井、司牛、司车、司篾、司梆、司漕、司涧、司锅、司火、司饭、司草；又有医工、井工、铁工、木匠；其声有人声、牛声、车声、梆声、放槽声、流涧声、汤沸声、火扬声、铲锅声、破篾声、打铁声、锯木声；其气有人气、牛气、泡沸气、煤烟气。”[6]这段文述，如实反映了富荣盐厂一幅紧张繁忙的劳动图景，十分壮观，同时亦看到了工场规模巨大，工种复杂，细密分工的实情。

具体来讲，工场内部细密的分工，如，井上，凿井工种分工有：井口管事、山匠、碓工、学碓工、拭篾匠等；汲卤工种分工有：坐堂井口管事、杩水匠、开车匠、大邦车、使牛匠、牛牌子（喂牛工）、辊子匠、打铁匠、木匠、石匠、泥匠、打杂工等。还有掌柜、经理、帮账、外勤等业务管理的分工；灶上工种分工有：总灶、灶头、烧盐匠、桶子匠、打锅匠、抬盐匠、白水客、挑水匠、看盐仓、杂工等。另有掌柜、财会、材料、库房、跑街、学徒等职员分工；笕号工种分工有：笕管事、散签、总签、外水场、笕匠、煎匠工，巡笕工、坐码头、番水匠、马夫等。[28]据初步统计，富荣盐场内部分工达50～60种，如加上为盐业服务的其他辅助行业工种，则总计近100个工种[29]。如此复杂细密的分工，比乾隆、嘉庆





时期，有了更进一步的发展和扩大。

4．富荣盐业雇佣劳动的普遍化

井盐生产的发展，形成了众多的工种，雇佣劳动普遍化。清乾隆、嘉庆时期，富荣盐场中的盐工、佣作、商贩达十万余人。道光至清末，用工最多时，直接或间接从事盐业劳动的共计“三四十万人”[21]。这些大批雇佣劳动者的来源，系多为丧失土地或逃荒的农民；或破产的小手工业者，“负债难偿”，家无出产，走投无路，“徒为糊口之计，不足言利也”[64]，最后被迫加入盐工行列，尤川省以外的流民加入盐工居多。“滇、黔、陕、甘流民佣工，井、灶借以营生者，尤不可胜计。”[65]大盐厂如富荣盐场、井户、灶户、佣工、商贩等人“以数十万计”。山区小厂“大宁、开县等厂，众亦万计”[26]。可见，四川井盐业雇佣劳动之普遍，尤以富荣等大盐厂之高度发展“以数十万计”。

这些来源不同身份的盐工，他们没有盐业生产资料，一般也没有人身依附关系，都是“论工受值”[66]，力作谋生，与雇主的关系，只是雇佣关系。大批流民、破产的农民等成为盐工，正是井盐资本主义萌芽不可缺少的一个重要方面。为此，在资本主义发展问题上，雇佣劳动增长的程度差不多具有最大意义[67]。“论工受值”，即按盐工技术的高低，工作的难易、不同工种及工时长短付给工资，如清代后期，富荣盐场雇员的月薪（除雇主供给伙食外）[28]大致如下：

职员，系雇主重要的雇员，多为盐业生产高、中、低级管理人员，因此月薪较高。此外，年终岁末另有奖励（所谓“红钱”）。一般月薪为掌柜20～30吊、总灶20吊、总签12～16吊、散签3～8吊、外水场十几吊、管账十几吊、帮账5～6吊、师爷7～10吊、坐灶6～7吊、跑街6～7吊、学徒1吊。

盐工，一般月薪较低，与职员相比较悬殊（有的工种除工资外，雇主也设有奖励），烧盐匠月薪4吊、笕山匠3～4吊，挑卤工（挑水匠）1～2吊、打杂工数百文至一吊、桶子匠1～1.5吊、挑白水1～2吊200文、炊事员1～2吊、上等厨师3吊、大班800文～1吊200文、看仓工1～1吊200文。

在众多的工种中，技术颇受重视，如，井管事、山匠、灶头等技术人员，不仅待遇优厚，而且受到雇主重视，关系密切，地位显要，乃至委以重任。雇主可随时解除雇员，雇员可随时离雇主而去，有进出工场的自由。

5．富荣盐业投资猛增和出现了少数大工场主

富荣盐业生产，以投资凿井“工费甚巨”，风险很大。若当凿井成功，便是一本万利，成为大富，所以凿井采卤是一种高风险，也是一种高收益的投资。故此，不断吸引和刺激着大量的投资者。富荣矿区地下卤、气资源极为丰富，汲卤、煎盐生产成本低廉，为工场主经营带来了巨额利润，如贡井地区的伍家坡、黄石坎、长土等采区，每年一眼黑卤井所获厚利，一般都在5 000～10 000银两左右[62]（卤气混采井还大大超过纯黑卤井的利润），创造了巨大的、惊人的经济效益。所以，世人传颂富荣宝地是个“银窝窝”[68]，凿井采卤是开银矿。

于是，一时“万商云集”[69]，“积巨金以盐者数百家”[21]。经营盐业“投资甚巨”[16]，在井灶经营方面，一度陕商占绝对优势，有“川省各厂井灶，秦人十居七八，蜀人十居十二三”[70]之说。其投资来源：有商业资本投资盐业，或以土地资



本投资盐业，或以小资本集资投资盐业等诸多形式。这些资本大量地转化为盐业资本，致使富荣盐业投资猛增，凿井兴灶发展到一个新的阶段。据《四川盐法志》（卷一二）载道：清咸丰、同治年间，富荣盐场凿深井多达“一百余眼”。如按投资每眼“深井以万计”[21]，则总计凿井耗费巨资100万以上，这笔巨资相当于富荣盐场头号资本家王三畏堂全家产之总合。当然尚不包起复井、修治井等费，也未含修灶房、建灶等资金。因此，耗资100万，只是这一时期富荣盐业投资的一部分，仅此一例，可见一斑。

道光至清末，富荣盐场有了飞跃的发展。在发展、竞争中，群雄逐鹿，优胜劣汰，出现了一批大资本家、大工场主，如最著名的盐商被时人誉称为“四大家族”——王三畏堂、李四友堂、胡慎怡堂及颜桂馨堂，他们占有盐业生产资料和雇佣员工之多，在富荣盐场乃至全国手工工场中名列前茅。以下以王氏、李氏家族为典例，来说明之。

“王三畏堂”，[27]是以发家人王朗云为首创立的家族堂名。其祖辈高官厚禄，兼营井盐业，后渐没落，走向衰败。清道光中叶，家境益困，创业人王朗云将其大坟堡扇子坝（家族共有）的土地及土地上的一些旧废井利用陕商雄厚的资金，开凿新井或加深旧废井，双方立约为据，王家出土地或“一井三基”①，不花分文，每井还取得“押山银”400两，一切凿井费用由陕商承担。凿井见功后，王家占股份12天，陕商占股份18天，按股推煎或卖水分红。推煎年限期满后②，陕商即将地基及井灶设备（盐锅、牛支除外），全部无条件归还王家。王氏家族以土地投资盐业，取得的暴利远远超过地租，或利用废井加深见功，则变废为宝——成为生产井，由此发家致富，逐渐成为大工场主。当其极盛时期，拥有卤井、火井数十眼，喂“推（水）牛多时有千二三百头”“日汲卤水千余担左右。”烧火圈（天然气锅灶）“经常在七百口左右，以每天产花盐四百包（每包老秤二四十斤）计，约占（富荣盐场）全部产量百分之十二强。”工场雇佣“有掌柜、职员二百余人，……工人一千二余人”。还安设由贡井至自流井输卤的“大通笕”，“日过水千余担。”又开设“广生同”盐号，相继在重庆、泸州、宜昌、沙市、武汉等地设立分支机构，专运富荣食盐济楚，转回运载棉纱等货，谋取大利。此外，还在富荣及邻近州县开办有大米、黄豆、花纱、煤炭等多种商号及钱庄。购买的“田土乡庄遍及富顺、荣县、威远、宜宾等数县，年收租谷一万七千余石”[27]。由上得知“王三畏堂从道光至清末，便由一个衰落的地主，一跃成为一家拥有井、灶、笕、号盐业生产资料俱全，家产资本超百万的大盐商、大工场主兼大地主，富比千户侯。

“李四友堂”[28]，盐业世家兼有功名。乾隆、嘉庆时期，四友堂父亲辈有卤井四眼，属于中小型盐井。父辈弟兄三人平均，四友堂仅能分得四眼井日份的三分之一，其经济基础十分弱小。道光初，李维基（四友堂主要创始人）从陕商高某

① “一井三基”，“一井”即盐井井眼；“三基”即指灶房、车房、井房及有关设施所占用的土地，盐场人称“一井三基”。

② 推煎年限有12、15、18年不等。

引进巨资“三仟俩”白银，这笔大资本的获得，对于李氏家族发展盐业生产，扩大经营，正是雪中送炭。

四友堂与陕商高姓合资办盐井，时来运转，进展顺利，一举成功。先后钻井十眼，每眼井或卤或气，无一井落空。其中卤井七眼，有联珠、水丰、丰泰、中兴、对溪、发隆等井，综计七眼卤井产量“二百担”。火井三眼，有海顺、海旺等井，合计烧锅“六百口左右”。为四友堂兴业发迹奠定了雄厚的经济基础。“李四友堂”鼎盛时，合伙“新锉和新办的井眼，先后共一百余眼”，养推水牛一千多头，日产卤水约“数千担”，烧“火圈八百多口”。“创办大生规，把贡井的卤水枧（输）到自贡井，每天过水三千多担。”三大灶正式雇工“一千二百余人”，另有挑水、运盐等临时工亦在千人以上，工场规模宏大[28]。所以，李氏家族在自贡盐场，亦是一个拥有井、灶、笕、号齐备，家产资本逾百万的大资本家和大工场主，其富有与王三畏堂并驾齐驱。

关于井盐业，资本主义萌芽的意义，有学者认为，在我国“整个资本主义萌芽中”，以“四川井盐业中发展比较完善”“四川井盐业是工场手工业中规模最大的”。上述富荣盐场王、李氏家族“恐怕是当时最大的工场手工业主”了[71]。

## 第二节　钻井工具的完善

清代的钻治工具，是在明代钻治井工具的基础上，并为适应川南自贡地区特定复杂的地质条件和钻探深井的需要，不断改进和创新，获得了高度的发展和全面的完善。当时，在世界上的盐井及油气井钻探工程中都处于领先的地位。

### 一、钻井工具的种类

**——反映了匠师的设计思想**

清代钻井工具，在四川逐步地进展，最终是在川南富荣（今自贡）臻于完备。这与川北盐区简单的凿井工具形成了鲜明的对比。从宋代至清代，川北盐区的凿井工具仅为大、小两种不同的形制，而且有少数盐区一直沿袭到现代。富荣盐场凿井工具的进步和完善，代表了这时最新的水平。

北宋初发明的圆刃锉，是世界上最早研制成功的钻头，它是由大口浅井向“卓筒井”变革的重要标志。但是，圆刃锉毕竟是一种原始的钻头，它的结构仅以“圆”与“刃”两部分组成，钻井工具亦只是“大圆刃”和“小圆刃”两种。

明代万历年间由圆刃锉改进的“铁钎”钻头，是从“圆”形到“扁”形的发展，它标志着锉井钻头形制的重大技术进步。但是，它又是从圆刃锉演进到鱼尾锉和银锭锉之间一种过渡式的钻头，所以“铁钎”的结构仍是由“扁”头和“轮锋（即刀锋）”两部分镶成。钻井工具为“大铁纤”及“小铁钎”两种。

至清代以来，川北地区仍沿用这两种或类似这两种锉井钻头。如射洪和蓬溪地区，凿井用大铁钎及小铁钎；井研、仁寿及资中地区，凿井用大锉与行锉；三台、富顺地区凿井用大冲杠和二冲杠；乐至地区，凿井用大锉和小锉。

钻井工具是战胜岩石的利器。在自流井构造上，为开发地下深部卤、盐、气



资源，钻凿复杂地层的需要，盐场的能工巧匠们设计和制造了各种巧妙的钻井工具，“非天下之至巧，不足以语于斯”，[72]诸器皆以铁为之，……其器不一，其名不一”矣[72]。

据清代李榕《自流井记》、吴鼎立《自流井风物名实说》、丁宝桢《四川盐法志》记载：以钻井工艺和功能划分，钻井工具有鱼尾锉、银锭锉、双马蹄锉及垫根子锉，共计四种（见图6－1）。

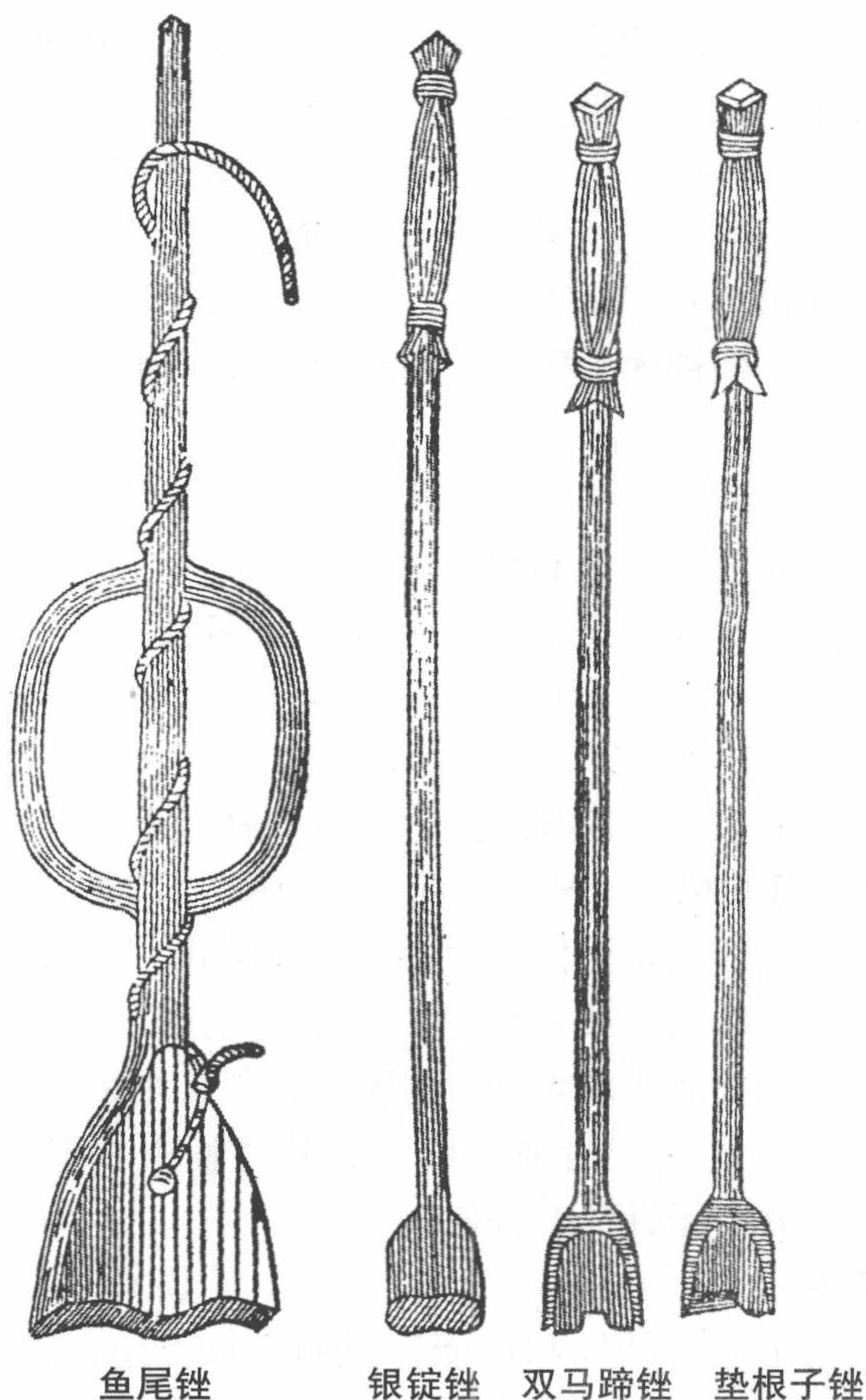



图6－1 钻井工具

采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷三

（一）鱼尾锉

第一，形状及命名。鱼尾锉，因锉头扁薄、宽阔，其形如鱼尾，所以命名鱼尾锉，俗名蒲扇锉，又名大锉。即匠师模仿鱼的“尾巴”设计制成的钻头。

第二，规格与结构。（锉全）“长一丈，其末广博，（直径）八九寸，大者尺一二寸，大小因井（而异）。柄长六七尺或八九尺。柄中作环，或方或圆，曰窝弓，为山匠转旋地。锉上系竹绳，曲屈旋柄而上，交于系锉（与龙眼孔连接）之篾，虑用力猛，锉偶折，系之使不脱也。重百二十斤或百七八十斤。”[73]

第三，锉井功能。“平地开井用锉……下石圈后，用此锉大口。”[73]同时用于

团大口位置（即木套管鞋与岩层接触处）与踏木柱（于木套管拔后残留的部分，可用锉捣烂后取出，俗曰踏木柱）。

清（代）以后，为适应钻凿大口井段深度的需要，蒲扇锉有新的发展和演进，按锉头形状分为：蒲扇银锭锉（又名银锭大钻头）、蒲扇马蹄锉（又名马蹄大钻头）；蒲扇垫根子锉（又名垫根子大钻头）。以上三种锉简称蒲扇锉和大锉。

（二）银锭锉

第一，形状与命名。银锭锉又名小锉、太平锉、吉子锉，因其形似古代通货“元宝”，故名银锭锉。也含有凿井吉利，顺利成功，财源滚滚而来的意思。

第二，规格与结构。锉“柄长丈二尺，小者七八尺，重八九十斤，（百余斤），或百三四十斤”[73]。“其柄上方下圆，剖斑竹或南竹四片，长可二尺束方柄上曰‘把手’，……吉子锭高可六七寸或八九寸，前后椭圆，左右中削曰‘泥槽’（锉井时，有泥沙可让从中出，利于钻进）。”[73]

第三，锉井功能。银锭锉主要用于锉小口（即小眼），“下木柱后，锉小口至井底皆用此。”[73]

（三）马蹄锉

包括双马蹄锉和单马蹄（又名垫根子）锉两种。

第一，形状与命名。锉的底部呈马蹄状，故名马蹄锉。即匠师模仿马的“脚掌”设计制作的钻头。有双马蹄锉和单马蹄锉之分：“锉作马蹄式，单者，仅起半形；双者，两面皆具。”[73]

第二，规格与结构。单、双马蹄锉，规格“柄及把手略同银锭”。据《四川盐法志》（器具图说）可知单马蹄锉头，前后开泥槽，底端一边为马蹄式，一边为银锭式；双马蹄锉头，前后仍有泥槽，两边均做马蹄式，刃部凹镶于两蹄间。

第三，锉井功能。井不圆或井中遗石，大如鹅卵，小为蟹眼，下双马蹄锉捣碎，用吞筒吸出；又如井底半软半硬，为预防井斜，则用单马蹄锉[73]。由此可知，清代单马蹄锉，主要功能用于治井（即治钻井过程中井壁上的病），但清代以后单、双马蹄锉用于钻井与银锭锉交替使用。

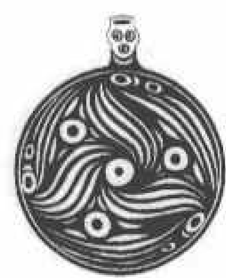
**二、钻井工具的完善**

上述各种锉头的形状、结构和功能等说明，自贡地区钻井工具完善的主要标志是：种类齐全，名称不一，形制各异，结构合理及功能奇特，能钻凿地下各种复杂裂缝、软硬皆具的岩石。钻井工具的完备归纳起来，不外乎在于（下部）钻头的完善；（上部）连接部分的完善；（中部）钻杆的完善。在三部分中，以锉井钻头最为重要。

（一）锉井钻头的完善

1. 钻头底部多种形制的演进，是钻头完善化的一个重要标志

钻头底部的形制如何是最重要的，即底部的形制决定了钻头的形制。明代改进的“大铁钎”“小铁钎”是“扁刃”形钻头，底部呈“一”字形，实际是两种规格（大小尺寸之差）组成的两种形制。这种钻头适用于钻凿川北简单岩石的浅井，对川南复杂岩石和深井不适用。因此，自贡盐场井匠技师在“铁钎”的基础上创制了多种形制的钻头。



银锭锉（钻头）底部横凸“一”字刃锋，类似现代顿钻的“一字钻”。左右两侧呈“V”形，其切角98度①。它是主要的凿井钻头，对硬岩凿进快，从“锉小口至完井皆用”。但因“一”字刃锋导向性能差，有时凿井发生偏斜（即井斜）。

双马蹄锉（钻头）底部呈马蹄形，类似现代顿钻的“工字钻”。由于钻头底部马蹄有增大自由面的特点，锉头导向性能好，稳定性增强，所以具有防斜作用。实际上，双马蹄锉在凿井过程中，一面钻井，一面刮井，即钻井和铲（壁）井同步进行，因此，井身伸直、圆滑，钻井质量好，但凿井速度比银锭锉慢。

单马蹄锉（垫根子锉）其底部形状一边是银锭锉形，另一边是马蹄锉形，具有两种钻头的特点，其钻头底部形如“丁”字形，所以类似现代顿钻的“丁字钻”。

还有一种冬瓜圈锉头，即是将银锭锉底部加上一道钢圆圈（如冬瓜切下的一圈），由此得名。这种钻头是在特殊情况下，如钻遇岩石大裂缝时，为防止卡钻事故，临时制作的凿井钻头，一般不常用，如，自贡市盐业历史博物馆馆藏文物征集的冬瓜圈钻头。

围刀锉。蒲扇锉，它的主要功能用于凿大口，在修治木竹时便于“宰化”② 木块，钻头另加上弧圈，则蒲扇锉变成“围刀锉”。围刀锉形状亦是圆形，与冬瓜圈锉类似。

自贡地区的凿井工具种类齐全，形制多样，既有凿井速度快的银锭锉（类似“一字锉”），又有凿井质量好的双马蹄锉（类似“工字锉”），还有预防事故确保安全的冬瓜圈锉。这些钻头珠联璧合，为现代钻井工具的发展奠定了基础。

2. 钻头前后两面开凹形的“泥槽”（又名水槽）是凿井锉头主体形制的新突破

宋代：“圆刃”锉其钻头主体是圆形（锉底刃部为“一”字形），由于锉头体积大，在凿井时占据了井底绝大部分空间，所以弊病多。如，井壁岩石掉块，容易发生卡钻事故，同时钻头无泥槽，破碎岩屑不易排开而回流聚集井底，掩蔽岩石，形成垫层，降低钻井速度。到了明代中后期，射洪盐区的井匠针对“圜刃”锉的弊病进行改进，由圆形的锉头制作成扁形的钻头——铁钎，在锉头的形制上产生了一次大的改进。虽然锉头为扁形，但扁体肥厚“广六寸、厚半之”[74]，即厚度等于直径的1/2，因此在钻凿深井中仍出现较多的弊端。在清代乾隆、嘉庆，尤其在道光、咸丰年间，自贡盐场的井匠师们，在开井实践中不断总结经验，锐意探索，对钻头前后两面开削“泥槽”，是凿井钻头本体形制的新突破。

关于“泥槽”的定义、形状、作用，早在清代史料中就有明确记载。据《自流井风物名实说》云：“平地开井用锉，上锐中阔，其末斜而宽，谓之鱼尾锉。”又《四川盐法志》卷三写道：“银锭锉（钻头），高度可六七寸或八九寸。”其形制和命名：“前后椭圆，左右中削（曰泥槽）。”作用是：锉井时有泥沙可让由中出，则锉易钻进。

---

① 据自贡盐业历史博物馆文物藏品银锭锉实测数据。

② 宰化：是传统钻井中常用的习语。所谓“宰化”即用钻头锋利的刃口，将井底的硬（物）块，诸如，石块、铁块（小铁件）、竹块、木块等捣碎，然后用泥筒取出地面。此处系指用锉捣碎木块。可见，“宰化”即捣碎的意思。

所谓“泥槽”，就是锉头主体中部开阔的凹槽。它的重要作用，根据文献记载结合长期实践证明，可归结为：其一，在钻井过程中，泥槽有翻动岩屑、泥沙的作用；其二，如遇卡钻，钻头变动方位，有解卡的作用；其三，有散热和放热的作用；其四，由于泥槽便于排开岩沙，“可让由中出，则锉易下”，所以有提高钻速的作用。

凡锉井钻头本体上都开有“泥槽”，但因钻头不同而“泥槽”宽度各异。如双马蹄锉的“泥槽”宽度约占圆周的1/3，左右两侧耳包子（呈弧形状）约为圆周的2/3。银锭锉头因耳包瘦削，所以泥槽较宽。

3. 把钢镶在钻头刃口上，是钻头重大的改进

井盐凿治工具（包括打捞、修治等工具）都是用熟铁制作成的。据明代宋应星《天工开物》卷十，“锤锻”中说：“凡治地生物……熟铁锻成。”又清代吴鼎立《自流井风物名实说》记载：“铁谓之锉。”“凡铁分生熟，出炉未炒则生，既炒则熟。生熟相和炼成则钢。”[75]因为熟铁性软，容易变形，在工具制作时按需要加工出各种外形，但是刃口不锋利。锉井工具各部分功用不同（即它们的任务和负荷不同），因此，对材质要求亦不同。如，钻杆、钻头需要良好的韧性，所以用熟铁锻制成；钻头的刃口部（或偏尖的镫、盐杆铲铲的口皮等）是直接做功受力的关键部位，则分别镶一块或贴一块硬度较高的钢。钻井工具“全部为熟铁打成，只在锉头角梁（即刃口）上加钢”[76]，使刃部锋利、耐磨、不卷、不缺，始终保持坚利，以提高工效。这样，刃口同钻头相联系又加以区别，反映出凿井工具的巨大进步。

4. 预防折锉坠井的保险孔——“龙眼”

“龙眼”就是在钻头上钻的一个圆孔。据自贡市盐业历史博物馆馆藏文物实测，孔径26～38毫米，似龙眼，故名。

随着盐井的加深和井径的扩大，地质构造的复杂和岩层的变化，钻具加重，用力甚猛，因而断锉坠井事故偶有发生。一旦出现折锉入井捞取易者数小时或数天，难者十天半月至数月，严重则取不出井报废。如何预防折锉又不坠井？最绝妙的方法是在锉头本体上即泥槽中穿凿一个保险孔，俗称“龙眼”。柄“上系竹绳曲屈旋柄而上，交于系锉之篾，虑用力猛，锉偶折系之，使之不脱也”[73]。

在钻井过程中：用竹绳穿过“眼孔”系住钻头，然后旋柄而上与悬锉篾相系牢。如遇“锉偶折”，有竹绳系之，随竹绳取出，因此不坠入井中。在大钻头上穿凿“龙眼”孔，是预防断锉落井的有效措施。

（二）钻具连接部分（上部）的完善——从云头到泥座子

关于钻井工具的完备，仅有钻头（当然是主要）的完备是不够的，必须有钻井工具连接部位（上部）和锉杆部位（中部）互相配合才行。

据川北遗存下来的实物和史料的记载，钻井工具上部——云头，从北宋初至明末清初，一直保持了这种形状，而且川北却有极少数盐区沿用至现代。如近年在三台富顺盐厂征集的二冲杠，上部云头仍保持了原始形态（见图6-2）。云头呈枪柄形，长约150毫米，宽27毫米，厚25毫米[77]。在不同盐厂或区，它的形状有变化。大锉上部云头形如钩[78]，大冲杠云头略呈四边形[78]，都反映了川北地区



早期工具的雏形。虎形实锥上部克把（类似云头）呈“凹”形，如实反映了北方打水井工具的古老形状。[79]这些云头直接与竹篾相连（不用竹把手），悬吊带动钻头，凿盐井和打（淡）水井。清代，钻井工具上部由云头发展为泥座子（如蒲扇锉）。

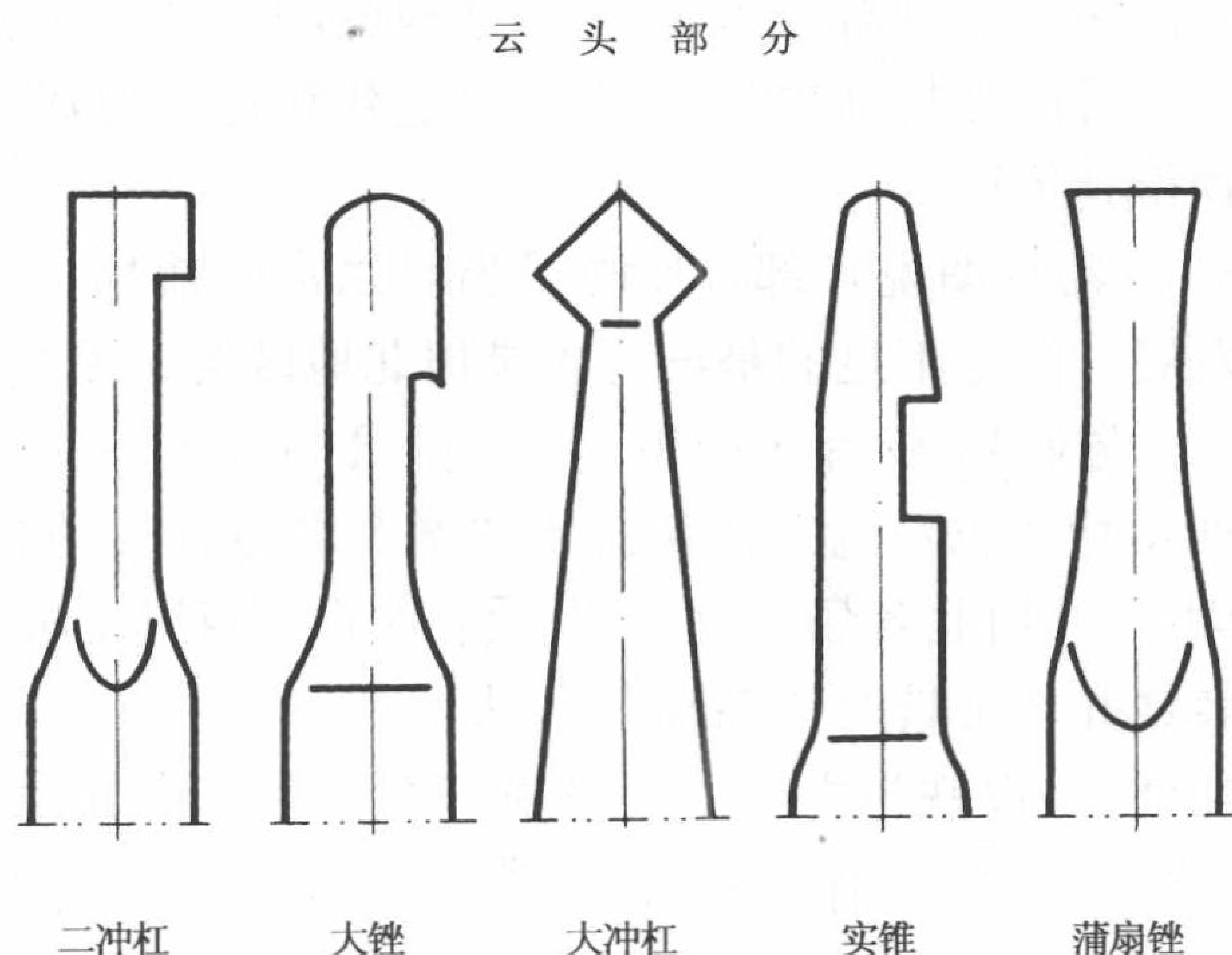



**图6-2 钻具连接部分（上端）的演进**

**采自：《四川盐政史》卷二“凿井之器具”**

**《机井技术》第二章“人工架打井”**

《四川盐法志》（卷三器具图说）可证，在自贡盐场中所有的钻井工具上端（包括打捞、修治井等工具）都有一个共同的泥座子。其形上大下小，呈倒塔式长方体，横切面为正方形。但由于各种工具不同，所以泥座子规格不同。就是同种工具，泥座子的大小都是不相等的。如蒲扇马蹄锉泥座子长430毫米，宽60毫米；蒲扇银锭泥座子长385毫米，宽62毫米；双马蹄锉泥座子长232毫米，宽60毫米；银锭锉泥座子长510毫米，宽58毫米；垫根子锉泥座子长355毫米，宽50毫米。关于钻具连接部分（上端）的演变（见图6-2）。

川北钻井工具上部云头的形制，反映出工具连接并不复杂，工具形制单一，对川北开卓筒小井较为适用。自贡地区为了钻探深井的需要，特将云头改进为泥座子，然后在泥座子上用麻索（俗称润子）捆扎四块竹制“把手”，再加上两个铁箍圈箍紧，并将竹把手与转槽子相连。井下取难时，打捞工具上部（如偏尖、猫镊等）泥座子扎的竹把手与挺子相连。总之，根据井下情况需要选定使用何种工具。由于泥座子的发明，原始的云头与竹篾单一的连接，构成了泥座子→转槽子（或挺子）→竹篾复合工具的连接，为攻克井下重大疑难问题，提高劳动效率创造了条件。从而使钻井、修治、打捞等工具及工艺达到了一个新的高峰阶段，是井盐钻井史上的一个转折点。泥座子的功能主要有以下五个方面：

其一，泥座子是连接各种工具的媒介。

其二，由于泥座子与竹把手相连，把手与转槽子相连，在钻井过程中可均匀地掌握冲程，加快进度。

其三，圆球（俗名球球）往下冲击泥座子，可打捞井下落物和淘井。




其四，圆球向上提动，可使被卡的工具解脱。

其五，圆球冲击泥座子的力反映并传递到地面，可测量井的深度（俗曰找准井底）。

（三）锉（钻）杆的完备

钻井工具是由泥座子、锉杆及锉头三部分构成的。锉杆上接泥座子，下接锉头。锉杆的完善，仍可以史料（包括图录）的记载和近、现代川北个别乡镇小盐厂保存沿袭的实物得到佐证。

《四川盐法志》（器具图说）部分反映了当时以富荣盐场（今自贡）为代表的钻治井工具高度发展，但是不足的是没有收录川北地区的钻治井工具。

《四川盐法志》成文48年后（1930年），由吴炜等主编的《四川盐政史》卷二不仅原录了《四川盐法志》卷三富荣盐场“凿井之器具”，同时亦增载了“犍乐场”“井仁资中等场”“川北各场”之器具，弥补了《四川盐法志》之不足。下面分析各场几种代表钻井之工具的“钻杆”形状。

川北各场大冲杠，“以铁为之。上下略扁，方长形。长五尺余，上宽二寸，下九寸，厚三寸，重二百六十斤。各小场凿井之大口，不用鱼尾锉，即用大冲杠。”[78]

“二冲杠，形与大冲杠同。帷长而小，约一丈三四尺，重一百五六十斤。为凿小口之用。”[78]

井仁资中场:“大锉，即富荣（今自贡）之鱼尾锉，形式虽异，而功用则同。”[78]

犍乐场：“行锉，系锉井捣小眼之用，与富荣（今自贡）银锭相类。”[78]

富荣场（今自贡）：据《自流井记》载：“鱼尾锉（全）长丈二尺，重二百斤。……银锭锉（全）长九尺，重百斤。”又《自流井风物名实说》云：“银锭锉谓之太平锉，重百余斤，（全）长一丈二尺。鱼尾锉重倍之，（全）长一丈。”稍后，清光绪八年（1882年），由丁宝桢主编的《四川盐法志》“器具图说”记载：“鱼尾锉，（全）长一丈。……柄长六七尺，或八九尺。柄中作环，或方或圆，曰‘窝弓’，为山匠用手转旋地锉。”又说：“银锭锉谓之太平锉，重百余斤，长丈二尺。又半边银锭者，名为垫根子。（按）其柄上方下圆。”

据自贡盐业博物馆藏钻井工具的实测：蒲扇锉，全长4.14米（折市制1.26丈），其中圆杆长3.03米（折市制9.01尺），圆杆直径70~100毫米，重量196公斤。银锭锉，全长3.4米（折市制9.13尺），其中圆杆长2.33米（折市制7尺），圆杆直径75毫米，重128千克。

在馆藏中，辅助打捞工具大大加长。如笋壳瓦口三星刀，全长6.63米（折市制约2丈），其中圆杆长5.75米（折市制约1.73丈），圆杆直径50毫米，重99千克。棒棒银锭锉，全长7.99米（折市制约2.4丈），其中圆杆长7.15米（折市制2.15丈），圆杆直径68毫米，重150千克。关于钻具钻杆部分的演进（见表6－1）。



表 6-1 钻具钻杆的演进

| 地区 | 工具名称 | 全 长 | 锉杆长及形状 | | 工具总重 | 备 注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 锉杆长 | 形状 | | |
| 川北 | 大冲杠 | 5 尺（约 1.66 米） | | 上下略扁长方形 | 130 千克 | 用于凿大窍 |
| | 二冲杠 | 1.3~1.4 丈（4.33~4.66 米） | | 同上 | 75 ~ 80 千克 | 用于凿小窍 |
| 犍乐 | 行锉 | | | 扁形 | | 捣小眼 |
| 富荣 | 鱼尾锉 | 1~1.2 丈（3.33~4 米） | 6~9 尺（2~3 米） | 圆形 | 100 余千克 | 用于凿大口 |
| | 银锭锉 | 9 尺~1.2 丈（3~4 米） | 约 2.4 ~ 3 米 | 圆形 | 50 余千克 | 用于凿小口 |
| | 棒棒银锭锉 | 2.4 丈（7.99 米） | 2.15 丈（7.15 米） | 圆形 | 150 千克 | 用于开槽眼 |

上表为自贡盐史馆文物藏品实测数据。同时表中工具在《四川盐法志》卷三、《四川盐政史》卷二均有记载。

锉杆的形状，由“扁方长形”演进为“圆形”。川北的锉井工具的特点，从云头至锉杆达锉头都是扁形，“大冲杠，以铁为之。上下略扁，长方形”，而扁方的形状，可用具体数说明：“长五尺，上宽二寸，下九寸（指锉头直径），厚三寸。”[78]犍乐区的“行锉”形状亦为扁方形。

而富荣区（今自贡）却与此相反，泥座子为长方形，钻杆为圆形，因此称“圆杆”。钻头不仅扁形，而且有“泥槽”，比川北更薄。“银锭锉谓之太平锉。……又半边银锭者，名为垫根子。（按）其柄上方下圆。”这里“上方”指泥座子；“下圆”又是指“圆杆”。

富荣区“圆杆”（又称“柄”）上加“窝弓”（即扶正器）。“窝弓”为山匠旋转锉，以保证在锉井过程中井身伸直，不偏斜，井壁圆滑，对提高钻井质量起重要作用。

据史记，犍乐区的行锉，是由“云头”和“锉头”两部分构成，缺扁杆部分，因此锉井工具构成不全，更谈不上加“窝弓”了。

川北区的钻井工具比富荣（自贡）地区的重。据《四川盐法志》卷三引《南部县志》曰：“铁干，首大末小，约重三百余斤。”又据清《光绪井研志》卷七引《宋治性盐井歌》：“高山凿井百丈深……脚踏圆刃二百斤，凿断千山万水脉。”大冲杠 260 斤，二冲杠 150~160 斤。富荣区鱼尾锉 200 余斤，银锭锉 100 余斤。这是因川南盐井比川北区井深，锉重怕竹篾折断，发生断篾落锉事故。“凡凿及百丈以下者，锉力愈重不敢用大锉，惧竹篾断也。”锉的重和轻，视井深浅而定：“（井）深宜轻，重则堕；（井）浅宜重，轻无力。”[73]

当然，关于锉的重，也不能一概而论。川北区也有较自贡轻的。据《蓬溪续

志》卷一记载："锉大者，重五六十斤，用于窍中；小者，三四十斤，用于小眼中也。"

## 第三节　巧夺天工的修治井工具群
### ——修治井工具的多品种系列化

修治工具是钻井技术中的一个重要组成部分，同钻井工具的产生互为先后，可算是同一个母亲的孪生子，也即说它的创制、演进是随同钻井工具而来。论其功能奇异独特，巧夺天工，为解除井下各种故障，确保钻井和生产井正常工作创造了良好的条件；论其种类复杂繁多，规格齐全，更使人眼花缭乱，从打捞、固井、补腔、连接、淘井等工具，分为十大类（加上地面设备为11大类），则计100余种[80]，获得了高度的发展和完备，形成了一整套钻治井工具群——多品种、系列化。这些工具，于清代在川南富荣（今自贡）盐场日臻成熟，具有精湛的、独特的、举世无双的成就。

井盐工具种类繁多，形式各异，功能独特。它们精巧而科学，细密而完整，互相配合，灵活适用，在钻治井各个工序的过程中有效地解决了一系列难题。钻治井工具数以百计，铁、木、竹、麻种类齐全，大小、轻重均有，杂置在一起，令人眼花缭乱。如何辨其名称，别其性能，做出具体分类与系统的科学研究，迄今尚阙如。为了系统全面地进行科学总结，我们在大量征集全国各地井盐工具及资料的基础上进行整理、鉴别和测定，取得了数以千计的参数，做出定量分析，并根据其功能用途，再结合造型以及工作原理，将井盐钻治井工具分为十大类。

**一、盐（气）井常见的"井病"**

明代的修治井工具和钻井工艺在宋、元两代的基础上，已获得初步的发展。主要表现在捞取井下落物和淘井两方面。明代马骥在《盐井图说》中述道："若掘凿之际，钎偶中折而坠其中者，或遭淤泥作阻者。"因此，必须打捞井中坠纤或疏通井内淤泥物的阻塞，以恢复盐井的正常工作。

自贡盐场的盐、卤、气井，井径仅数寸（约6～25厘米），主要产层深达几百甚至上千米，历来系人工捣碓凿成。其钻具和汲筒用竹篾、篾索牵引。井身结构除上井段用木竹（或曰木柱）封隔岩层与白水，其下（绝大部分）井段全为裸眼。为此，无论在钻井或生产中，很难避免不发生井下事故，古人称之"井病"。凡已未成之井均不无病，有病必停工，谓之挂井[21]。"井之病四：有走岩；有崩腔；有流沙；有冒白，有一病必停工。"[72]另有一说：盐井发生的井病不外三种，一木竹朽坏或渗漏；一井底岩石损坏白水渗入；一井汲筒或铁器落于井中[78]。从井的病因分析，无论其三种或四种之说，概括起来，"井病"有自然的、机械的及人为的三种。据史实记载并结合自贡盐场井病的特点最常见的井病有如下[81]。

第一，井内落锉。又可分为七种情况：其一，断竹篾落锉。由于牵引（起下）锉具的竹篾折断，或因接头脱落，或篾损坏更换不及时，或工匠操作不当，造成篾断，篾与锉一起落入井中。其二，断把手落锉。在钻凿时，因快慢不一，高矮不当，造成鸡脚杆上的球处断把手落锉。其三，抽把手落锉。由于下把（即把手



的下部）的铁箍子与捆扎的麻索脱落，锉上部泥座子从下把中部抽脱，发生锉坠井内。其四，溜后门落锉。与抽把手落锉相反，因上把铁箍子和麻索断脱，转槽子从把手中抽脱造成落锉。其五，断鸡脚杆落锉。因鸡脚杆的质量问题，或因遇硬岩冲程和冲次不当，造成断鸡脚杆落锉。其六，断钻头，多因锉在制作时锻接或淬火不当，造成钻杆或钻头折断落井。其七，遇井内岩层裂缝等发生卡锉事故。

第二，井内掉筒。可分为六种情况：其一，断索掉筒（包括篾与筒一起落井）。其二，抽占头掉筒（俗曰："占头"即索与索端的接头处）。其三，断筒掉筒（即部分汲筒断掉落井）。其四，打龙头掉筒（因刹车失灵，或因操作疏忽，筒与索迅速下落，将车上龙头扯断，造成筒和全槽索掉入井内的重大事故）。其五，断筒爪子掉筒（推筒上端与引索连接部分，形如鸡脚爪，故名）。其六，掉过笼闩落筒（过笼即筒与筒接头；过笼闩即接头的竹闩，若竹闩掉落，筒亦随之而断落）。

第三，垮岩崩腔。《四川盐法志》卷二中明确记载：凿井时，常常遇到如麻枯岩、拳石岩、绿豆岩、黄泥岩等，容易塌陷为穴，名空腔。走腔，又名崩腔，形成口小腹大的洞穴，井匠称之"腔"。"腔"即是岩腔。据地质资料得知，自流井构造香溪群容易垮坍的页岩层之类，厚达200多米，所以走岩崩腔是自贡盐场盐卤、气井中普遍存在的一种通病。据100眼老井的统计，一眼井井下的岩腔，少则数处，多则达数十处。

第四，井身弯斜。井身是否斜或偏，是衡量井身质量优劣的一个重要标志。《盐井图说》中明确记述："匠氏掌钎篾坐井口旁，周遭圜转，令其窍圆直（即井筒圆直）。"但是，如遇硬岩或裂缝，或转锉不均匀，井段（局部）就会出现井病——斜或偏。清代《自流井风物名实说》记载：人即在踩架上跳来跳去，谓之捣碓。浅井则以二人在碓上，以一人在井口转锉，若不时刻转之，其井不圆，或偏或弯（作斜）即成病井，均系昼夜轮班分捣，凿井中发生斜或偏仍是一种常见的井病。

第五，淤泥杂物填井（这里指生产井）。井中除上部表层木竹封住岩层外，其下段大部分为裸眼井。生产日久，井壁出现走岩，或在生产中掉落铁箍子、竹筒脚子等物，或井壁上生水锈，将井底填高，或使井径缩小，影响生产，为此要定期（或不定期）进行淘井、刮水锈，以保持正常生产。这是生产井的一种小病。

第六，木柱套管损坏或渗漏。这种井病常发生在生产井中，它是一种大病。木柱套管叼换（或部分叼换），则列为大修工程。但是，麻头（即套管鞋）渗漏则属维修工程。

**二、精巧的修治井工具群及分类**

为了解除上述井下各种故障，保证钻井及生产井正常作业，我国古代劳动人民在井盐生产工具方面曾有很多伟大的创造和发明，不仅推动了井盐生产的发展，而且在世界科技发展史上也占有重要地位。对此，史籍记载较少，往往将其视为"雕虫小技"，从未列入正史。即使一些地方志书或者野史杂文中有涉及的，也是一鳞半爪，更谈不上详尽介绍，科学分类和综合研究。现有史料如《蜀中广记》、《自流井记》、《四川盐法志》、《川盐记要》、《中华民间工艺图说》上有关井盐工具部分，没有明确的分类法。对所述的工具，只做了定性分析，没做科学的定量





分析。只是将造型奇特、功能各异、原理各具的工具，笼统地在生产环节和工艺技术的范畴里介绍，将其分为凿井、疗井病、煮盐加汲卤等四大类。直到20世纪50年代末期，熊佑周等著《自贡盐场锉井及治井技术》（1957年）一书，才将井盐钻治井工具按功能划分为六类：第一，基本工具；第二，锉井工具；第三，打捞及淘井工具；第四，补腔工具；第五，叼换木柱工具；第六，附件类，计89种钻治井工具。这种分类、分析法较之前人有了很大的进步，但尚有不够正确和疏漏的地方。如，转槽子、挺子等，就其功能来讲，主要是起连接作用，钻井时作为牵引绳索与钻具之间的媒介，因此划入基本工具类是没能抓住转槽子连接功能的特征；又如，考水盆是考测上井段渗漏白水情况，以安置好表层套管（木柱）的测考器具，把它划在钻井类是不妥善的；再如，穿鱼刀等是为打捞工具打捞落物前扫除障碍用的工具，是辅助或者说是协助性质的工具，因此笼统地划在打捞工具类是不够科学的。

此外，近人著述中涉及井盐工具分类的，有按用途分为三类、五类的；有按形制结构来分类的；有按钻进处理事故的工艺来分类的；现代钻井按轻、重型来分类的。井盐工具究竟如何分类才好，我们做了初步探索。

修治井工具的出处是根据清代文献——《四川盐法志》卷三、《自流井风物名实说》、“双全井岩口簿”等的记载，并进行综合的统计，列出清代各种类工具，然后将各种类工具排列、组合、归类。但有少数工具，清代文献记载较少或根本无记载，如固井工具是如此。作者经盐场实地调查得知，现存清代盐井，如小桥井、全福井等，在叼下木柱套管时，实际应用了固井工具，以此弥补了清代文献记载的不足。

井盐钻治井工具分类，主要根据功能、用途、治井工艺，并结合几何形状进行科学分类，此将清代井盐修治井工具（尚未包括钻井工具）分为十大类，计97种。

（一）打捞工具类（时代：清代。采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷三、吴鼎立《自流井风物名实说》）

打捞工具有木龙、系子、死偏尖、活偏尖、独脚棒、柳穿鱼、五股须、四股须、抱爪、提须子、连环提须、月亮提须、夹千子、羊蹄子等。

打捞工具是打捞落井物所用的工具，按其工作性质及结构造型来划分有三亚类：

第一，尖蹬型。其功用主要是打捞落锉，有木龙、系子、活偏肩、死偏肩等。

第二，外齿型（即常用类工具）。主要用于打捞落篾，有柳穿鱼（现名中钩）、独脚棒（现名外钩）虎头、提须子、连环提须等。

第三，内齿型。主要用于打捞落筒、翻松泥石，尤其是大块岩石。有夹签子（即二股须）、四股须、五股须、抱爪等。

（二）辅助打捞类（时代：清代。参考文献，同本节上（一）“打捞工具类”）

辅助打捞工具有三楞子、四楞子、双刀、单刀、穿鱼刀、提须刀、乌龟背、虎舌、催子、单瓦口、拐脚瓦口、牛耳（朵）瓦口、笋壳瓦口、双瓦口、扫镰、草鞋板、松球子等。



这类工具主要起协助打捞的作用，可分为六亚类：

第一，切割型。有双刀、单刀、穿鱼刀、提须刀、独脚刀。这些工具可在打捞落物之前，切割绳索、纫子、解散竹把手，以及绞结在一起的篾团、丝索，为打捞工具打捞落物排除障碍，创造条件。

第二，扶扫型。有扫镰、怀胎扫镰、催子等。可清扫和扶正斜倚在裂缝或垮腔中的落锉或井绳等，然后配合偏肩等打捞落物。

第三，粉碎型。有乌龟背、笋壳瓦口等。用于粉碎断落在井内又无法捞取的铁器。

第四，插松型。有草鞋板（铲）、虎舌等，用于插松淤积在井底的泥沙、小块岩石及落井物。

第五，开槽眼型（即开斜眼）。此种工具用于扩孔的有三楞子、四楞子。开槽眼是因为落井物紧卡在原有井眼内无法取出时，另在落井物的一侧开钻斜眼松动落物，然后用打捞工具取出。

第六，铲刮型。此种工具有拐（左、右）脚瓦口、牛耳（朵）瓦口。

（三）固井工具类（时代：清代）

固井工具类，即下叼（换）木竹（柱）工具类：据《自流井风物名实说》明确记载及自贡盐场实地调查，清代盐场已普遍采用木柱（又名：木竹）做套管下入盐井内，以封隔绝表层淡水。但是，这一类工具在史籍中记载很少。现据盐业历史博物馆征藏的文物和清代盐井（如，老双盛井、小桥井、燊（兴）海井等）遗址证明清代盐井下起木柱表层套，所需工具至少应有羊蹄子①（或棺材头）、竹欠篾（又名梗子篾）、偏楔、锯子、铇子、位镰、正心、叼杆、大口铲等。

此类工具是用来固井用的。木柱是井下固井设备，由于年久朽蚀、移位，因而渗漏淡水，必须及时进行叼换。上述工具，是一套完整的组合工具，也是专用工具，自清代以来沿用至今，经久不衰，其生命之强也是工具中为数不多的。

（四）测补工具类（时代：清代）

这类工具有竹发口、木孩儿、泥孩儿、掉灰筒、接水筒、夹壳，采自《四川盐法志》卷三，其他测补工具如扒杆子、样筒、木旋棒等，据自贡盐史馆珍藏文物及清代盐井遗址（如，东源井等）列出。

测补工具至少有竹发口壳子（又名下欠）、上欠、木孩儿、泥孩儿、样筒、接水筒、掉灰筒、木旋棒、扒杆子等。

这类工具分测井和补井两大部分。测井工具有上欠、发口壳子、样筒（即测井斜用）、泥孩儿、考水筒；补井工具有扒杆子、接水筒、竹夹壳、渡灰筒、木旋棒等。上、下欠等用于考测下腔盘和上腔盘（即测量井径因垮塌等原因造成局部扩大的位置）。考水筒用来考测裂缝渗漏水量。样筒是考测井径是否垂直的土制

① 查《自流井风物名实说》记载的“羊蹄子”：“其柄与提须子等均长五尺，重数十斤。其末如环之块，中有倒笋，以疗井之落锉。”由此可知，此种“羊蹄子”的形制、规格及用途与叼木柱的“羊蹄子”完全不同（见本卷第六章即本章附图6－20），仅名称相同。看来，“羊蹄子”一种称谓，两种（不同用途）工具。前者归打捞工具类，后者属固井工具类（见：熊佐周《自贡盐场锉井及治井技术》食品工业出版社，1957年）。

“测井工具”。欠杆子、渡灰筒等是用于补填井腔的工具。这套测补工具取材于自然界，有竹、麻、木、草之类，不但制作简易，操作方便，而且灵巧适用，配合默契，能准确达到测补腔之目的和要求。

（五）修井工具类（时代：清代。参考文献，同本节上（一）“打捞工具类”）

盐井在长期生产过程中，出现不少弊病，常见的有以下几种：一是经常有塌岩情况发生；二是在生产过程中不慎将铁器等小物体掉落井底，逐步填塞井底；三是由于井壁受地层水的渗漏，水锈或盐垢日积月累使井腔变小，推卤筒受到阻碍。为了保证生产，淘取碎石、泥沙，铲除盐垢，踏碎小铁件就成了修井的同步作业。维修工具就是为了适应上述修淘作业的需要而产生和发展起来的。

维修（淘井）工具有：二水镊子、平头提须、竹吊壳、泥筒、霸王鞭、吞筒子、财神锉、蛇皮、三水列子、一匹草、萝卜头、列子等。

旧时井盐生产的盐井为裸眼井。裸眼盐井体上可分为三亚类：

第一，用来铲刮井壁上的水锈（附生在井壁上的垢物）、小铁件、巴腔泥（即紧贴井壁的黏性泥巴）的工具，如，蛇皮，列子等。

第二，淘取淤积井底泥砂的工具，有捞砂筒（又名泥筒）、平头提须、虾虾壳子、吞筒子等。从工艺及其功能的多种作用来看，可将古代泥筒划为第八类即搧汲类。

第三，踏碎或插松沉落在井底的淤积杂物和坚硬岩石等的工具，有财神锉、霸王鞭、长条、一匹草、列子等。

（六）连接工具类（时代：清代）

其中转槽子、挺子、长条挺子、竹把手、铁箍子，据《四川盐法志》卷三、《自流井风物名实说》记载。另，揹木、连环，采自清代燊海井陈列实物。

连接工具类转槽子、挺子、长条挺子、竹把手、铁箍子、揹木及连环。

这类工具分三亚类：

第一，直接连接工具（旧称工具上装）。用来连接钻、治井工具，主要起活环作用。它能使钻、治、汲工具在井下作业时操作主动运用自如，有转槽子、挺子、压手。

第二，升降工具。主要起升降作用，有揹木、连环。

第三，中间连接工具。是用来衔接转槽子、挺子，以及垂吊绳索之间的中间工具，有竹把手、铁箍子。

连接类工具作用较大，有加重、垂吊、震击等多种作用。不难设想，在井深数百米至千米以上，仅有钻具本身是无法进行工作的，专家们认为，“没有活环等于没有关节”，无法上下屈伸，无法灵活地在深井作业。

（七）搧汲工具类（时代：清代采自丁宝桢《四川盐法志》卷三）。

搧泥工具类：泥筒、推水筒、竹脚子（包括皮钱、竹、铁箍）等。

这类工具在旧时多半是竹质。以楠竹或斑竹打通节制作成泥筒和汲卤筒。后来改用马口铁为原料，马口铁俗称镔铁，故名镔筒。泥筒或汲卤筒其底部装置有牛皮钱（用牛皮制成的圆形封闭圈），关闭所汲的卤水与所入的泥浆，其原理与现代单向阀相同。在泥筒、汲卤筒上部劈有两对爪子，以便连接压手加重压力后进



行搧泥、汲卤。

（八）扶正工具类［（时代：清代。采自丁宝祯主编《四川盐法志》卷三、自贡盐场清代盐井（大荣井）］。

古代扶正工具，类同现代钻井装置在钻杆上的扶正器。

这类工具是附置在钻、治井工具本体上协助井下作业。其质地以铁制或竹制，如窝弓（有铁、竹制两种）、袖笼子（竹制）等。窝弓扶正工具，于钻井时，将其安设（分临时捆扎或事先固定）在锉杆上垂直于井筒中心，窝弓之间的直径略小于井径。竹窝弓具有弹性，因此可谓弹性扶正工具。另袖笼子，是揹扎在挺子上，多用于淘修井，以防止修井工具卡入岩石大裂缝中，如，大荣井腔口坏较常用，又如，通灯井修井时也必用，以保修井安全。修工具揹带袖笼子，使其出入井中畅通，即起扶正作用。

（九）井口工具类（时代：清代）

井口工具类，（采自：燊（兴）海井遗址井口工具。）凡钻井或修井或起复旧井时，是井口必备工具。有车转子、润杆子、筒刀、锯子等。这类工具看起来简单，其实十分重要。用于开、砍、叼、理、扎下井各种竹制工具。即它是一种母工具（如筒刀），可以制作产生各种子工具。

（十）井上设备类、俗称井场设备［时代：清代。采自《四川盐法志》卷二、《自流井风物名实说》。另见燊（兴）海井、东源井遗存（至今）的现场地面设备］。

系指井上地面机械设施，用作支撑、提升井下作业（包括钻治井及生产中）各种工具。这类工具有天车、碓架、大车、天辊、地辊子等。

清代在钻治、打捞、测补等工具各方面都远远超过明代，取得了惊人的成就。由明代的五大类15种，发展到11大类100余种，以类别计增加两倍，以种数计增加五倍多。其中打捞和辅助打捞工具更为突出，多达32种，约占清代各种工具总数的1/3。由此可看出，打捞和辅助打捞工具，在治疗井病中（打捞井下落物）占据重要地位。

故此，清代钻井、打捞、修治井等工具，在前代的基础上，结合自贡盐场同“井病”作斗争，经长期的实践，得得了高度的发展和完善，达到了新的高峰。从而形成了钻治井工具群，并在清代《四川盐法志》卷三及《自流井风物名实说》等文献有确切的记载；又有盐业历史博物馆珍藏着600多件盐史文物（实物）为证。在此，仅其中精选出33件代表性工具，以此形象地、生动地、真实地展示在读者面前，一是让读者了解巧夺天工的钻治井工具群——多品种、系列化；二是反映钻治井工具的造型、结构及奇特的功能用途；三是古代钻治井工具高度的发展和完善，显示了我们先民伟大的创造力和光辉的业绩。同时，图幅配有简洁文字解说，文图对照，翔实清楚（见图6-3至图6-35）。

**三、钻治井工具独具的特点**[82]

我国古代井盐钻治井工具的制作和性能很有特点，在中国古代众多的手工工具中独树一帜。它们精巧而科学，细密而完整，相互配合灵活实用，在凿治井过程中有效地解决了一系列难题：如深达千米以上的井如何保持井身垂直；如何分析了解地下复杂岩层情况；如何有效凿穿各种坚硬或松软的岩石；如何判断井下

发生的各种事故；如何捞取大至数百斤以上的铁锉、小则胡豆米大的铁石、泥块、竹木、麻节等细小物件；如何治理排除井下深处对井壁进行维护与维修；如何加速和改进钻凿进度与提高速度等[83]。这些问题在当时生产技术比较落后的条件下，能达到现代科学技术所达到的深井钻凿水平，是十分令人惊叹的。专家认为，现代先进的钻井技术与工具，其中大多数也是这些历史经验的继续和发展，是这些工具技术所体现的基本科学原理的延伸或改进，目前顿钻所具备的工艺，也尚未超出原有范畴[84]。

为了钻采地下丰富的卤、气资源，我们的祖先在长期的实践中创造发明了钻治井工具群。这些工具功能奇异，独具多种特点——即工具制作的模仿性；铸造中的多变性；用途广泛，具有多功能；就地取材，制作轻巧；种类齐全，成龙配套；继承和创新相结合。

（一）工具制作的模仿性与命名的规律性

1．工具制作的模仿性

先民们为开发地下深部卤、气资源，战胜软硬的岩石和复杂的裂缝，根据井内钻采工程实际的需要，设计和制造了不同形状的钻治井工具。这些工具从铸造工艺、结构形状及使用方法来看，特具有一定的模仿性，“生产工具的原始是从人类体质构造及其活动的总结及体验中来的，因此，劳动创造了人类本身的同时，以其劳动诸形式、模式及姿式作为基础，扩大创造出原始工具，如，从拳的模式创造了石锤，以手掌横劈的模式创造石刀之类，为加大锤的力量，便模仿着手臂而加上柄，使锤与锤柄（杠杆）构成复合工具而加大劳动效率，这就成为简单的机械工具。”[85]同书又说：“锤头的基本形式是人的拳头，扒和把的基本形式是手指共向后曲，耜的基本形式是手指并成尖状，刀的基本形式是手掌的侧部，碗的基本形式是双手合捧。”由此可知，几乎手工操作的工具都具有一定的模仿性。剖析古代钻治井工具，无不具有上述的特点。井匠技师根据生产和生活实践，以模仿人手劳动的动作，或以模仿其他动物某种器官，或模仿自然界某种树木的枝叶，或以模仿某种花形，或以模仿某种物（体）形等设计和制造各种工具。如，明代发明的打捞工具“铁五爪”，清代又由“铁五爪”改制成的“五股须”，就是仿照人的手掌和五指的动作和形状创制而成的。故此称“铁五爪”“五股须”。其“五爪”和“五须”，在井下作业时，呈“覆手状”，犹如人手五指，非常灵动，可有效地去抱、抓井下的落锉、岩块等物。又如，凿井钻头“双马蹄锉”，其形制像马足（脚）的蹄子。“鱼尾锉”，其形制像鱼儿的尾巴。打捞工具“柳穿鱼”，其杆上的齿形，正像杨柳树的叶子。“枇杷叶”，其形制像枇杷树的叶子。辅助打捞工具“莲花瓣锉”，其形制像莲花盛开的花瓣。“童子银锭锉”，其形制像桐（童）子树结成的果实。斗笠尖锉，其形制像人们戴在头上遮雨避日的“斗笠”帽。维修工具“霸王鞭”，其形制像楚霸王挥舞的“钢鞭”，所向披靡、无坚不摧的意思等等。总之，古人这种模仿性曾在钻采地下盐卤、油气资源过程中发挥了巨大的威力，同时也为后继工具的发展奠定了基础。如，现代钻井中所用的打捞工具中勾、边勾，就是由古代的“独脚棒”“柳穿鱼”改进和发展而来的。



2. 命名的规律性

从锉井的银锭锉、马蹄锉到治井的霸王鞭、偏肩、扫镰、牛耳朵铲铲、莲花瓣圆锉、滚龙镊子等，无不来自生产实践和生活实际。对600多种工具的造型和命名进行仔细分析后，我们认为是有规律可找的。众多的井盐工具在命名时概括起来有三种情况：一是象形而定名；二是指事而定名；三是象形、指事二者兼备而定名。如银锭、马蹄、蒲扇、虎尾、霸王鞭等锉是象形而定名的。脉杆（即凿井时定点的吊脉测定工具）、样筒、偏楔等是就其从事测定、楔紧等工程论其作用（即指事）而定名的。而扫镰是按其具有镰刀的形状并发挥扫帚的打扫作用而定名的，是象形与指事二者兼备的复合名称。更为有趣的是把人们的希望和图吉利结合在工具的名称里，如，马蹄锉不仅外观像马蹄，内含不断前进的意思，凡锉必须有刃口，马蹄锉就是取马蹄边沿呈圆弧状作刃口，这样既保证了井腔圆滑的要求，又能马不停蹄地向地层深部前进。银锭锉形如古代货币“元宝”（又称银锭），银锭锉是取银锭呈“一”字形刃口，凿井锋利快速，效率高，含义是金银财宝源源而来。从古代工具群的命名中，可看出先人丰富的想象力和创造性。

（二）工具制作中的多变性

古代井盐工具多半是手工制作工具，因此随意性很强，不像现代工具讲究标准化、系列化、规范化。当然，古代井盐工具也不能排除严格的仄子（尺寸）要求，这里所述的随意性、多变性，是指手工制作工具的特点及井盐工具的造型而言。一般是井场上备有洪炉（即锻打工具用的铸铁炉），祖辈们从生产实际出发，根据井下所发生的事故的需要，由主管凿井的管事临时在现场授意锻打各式功能不同的工具，其方式有当场塑造泥质模型，有口授工具的外观，待锻打成型后，立即投入使用，获得成功以后再为其定名。也有的成型后即取名再投入生产。有些工具边锻打、边试用、边改进。有些一日数改，一具多变，有些工具来不及命名或保留就被淘汰了。如，扫镰在铁杆内侧加铸一对上齿就成为怀胎扫镰，其功能除扫出并扶正斜倚在井腔裂缝中落物外，还可运用它的一对上齿将落物勾出。又如，吊脚提须是在平头提须的基础上加铸一根吊脚须，这样既可抱取泥岩又可勾捞篾索。自贡盐场上保存至今的井盐工具大多是承袭旧制的古代井盐工具，是经过无数次筛选淘汰而遗留下来的，因此，确切的品种已无从考查，史籍记载更是寥若晨星。在重政轻技的封建王朝被视为“雕虫小技”的科技创造，往往淹没在历史的长河里鲜为人晓。

（三）用途广泛具有多种功能

我国古代井盐钻治井工具，不仅种类齐全，形制多样，而且一种工具有多种用途，多种功能，钻井与治井同时并行，或医治多种井病“其器之机巧，不能名状”[21]。

如，双马蹄锉，属于锉井工具类。在凿井时它一面钻井，一面治井，是一种钻与治相结合的工具，功能奇特，非常巧妙。用以锉井，第一，能使井眼圆滑伸直，因此钻井质量好；第二，若在用银锭锉井时，出现井斜或井壁上有埂子（俗称胡豆米），可用双马蹄锉纠正；第三，井内出现裂缝时，容易卡锉，则必须将银锭锉换为双马蹄锉，同时锉杆上带扶正器（当然也要注意操作）；第四，在松软岩





层井段补腔后，用此锉开腔，有利于上、下井眼吻合对正；第五，井内若遇铁器等物，并用此锉踏平，再用棒棒银锭、文财神锉等工具捣碎，并用泥筒捞取[76]。

泥孩儿也是一种土制的多功能测井仪，在旧法锉井、治井中具有多种功能。主要有：其一，考井内白水（淡水）渗漏；其二，大口位置上打印（即印迹）；其三，木竹（或木柱）损坏的探测；其四，井内落物状态的探测；其五，岩腔的探测。

独脚棒的多种功能可归纳为三个方面：首先是打捞，如井内遗筒或篾索，下此探取；其次是考腔，其杆上扎竹数块，反张若雨伞，用以测量井腔（即岩腔、或称岩穴）；第三是淘井，生产井中，淤泥、麻物等填塞，用此翻松，再用提须捞取[76]。

此外，提须子、挺子、鱼尾锉等工具都具有多种功能和用途，在此不一一详述。

总之，随着井深的增加，钻井工艺的进步，从而形成了钻井、打捞、修治、开采等一整套完备的工具群，这正是井盐生产长期保持高水平、高速度发展的根源所在。

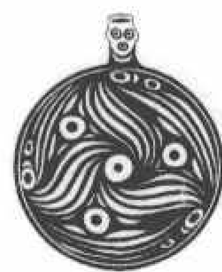
**四、就地取材，制作轻巧**

古代井盐工具所用的材料不外乎是铁、木、竹、麻、油灰、石、土等，可贵之处是古人懂得借助自然，利用自然，因势利导，就地取材。据古籍记载，一般井盐产地与铁矿相距不远。如，北宋中期，陵州（今四川仁寿）井研县发明圜刃钻头，与本地附近产铁矿冶炼鼓铸便是一例。据刘琳《〈华阳国志·蜀志〉校注》，引《元和郡县志》卷三三云："始建县（按治今仁寿东南始建镇），……铁山在县东七十一里，出铁，诸葛亮取为兵器。其铁刚利，堪充贡焉。"因此，为北宋中期井研、荣州等地创制"圜刃"锉提供了铸造工具和原材料。竹的用途在盐场更为广泛，人们利用竹的自然属性——长度型、圆型、封闭性、柔韧性、纤维性、耐腐蚀性等，将楠竹、斑竹制成汲卤筒、泥筒、竹导筒、样筒以及竹篾（大车上的）、火掌篾（下井用的）、篾索、竹把手、竹纤子、竹扒拍、竹笆、竹篓等。四川、云南气候温和湿润，各地遍布竹林。蜀南竹海是我国七大楠竹基地之一，产量很大。为井盐工具的制造提供了丰富的材料来源。

我国井盐钻治井工具结构的原材料都是铁、竹、木、麻相结合的，铁工具只有做功部分加钢。因此，所用材质比较简单，形制轻巧，使用方便，成本很低，而且巧能奇特。清代吴鼎立在《自流井风物名实说》中写道："铁谓之锉，木谓之梁，竹谓之篾，绳谓之索，汲水者谓之索，系锉者谓之篾，以索篾维井四周者，谓之风篾（现代钻机称"绷绳"起加固井架作用）。"

（一）竹制工具

竹的品种繁多，其中有楠竹、斑竹、刺竹、寿竹、黄竹等，由于竹有抗拉、抗压、防腐蚀的作用，同时具有天然的圆状、伸直轻便及封闭隔水的优点，所以，用竹制作的工具，无论是在凿井、打捞、修治，或在生产汲卤、熬盐等方面都显示出独特的、重要的作用，仅次于铁工具。竹工具有：



1. 钻治井工具

钻治井方面的竹制工具有木竹（即下入井内的表层套管）、把手、泥筒、样筒、考水筒、偏尖壳子、搅镰、正裁尺、发口壳子（又名考腔壳子）、齐头壳子、叉叉壳子、桶桶壳子、豪豪壳子、牛舌头壳子、冒筒、脚子、推卤筒（又名汲卤筒）、井篾（用于悬吊的工具）、竹篾索（用于汲卤悬筒，与井篾有区别）、竹拭篾（又称绞车带，起刹车作用）、风篾（绷绳）等[76]。

2. 枧（笕）

盐场在熬盐输卤、输气（天然气）方面用枧（通笕），又称枧管。所谓枧，即巨竹通节，公母榫相连，外用细麻、油灰缠束。用于运输卤水的称卤枧；用于输送天然气的称气枧。枧在自贡盐场曾纵横交错数十里，密集如蛛网，是盐场输送的设施。

（二）木制工具

木的品种甚多，但盐场上主要用料是杉木：杉木天车料、杉木原料、杉木板材，此外还有松木、柏木、青杠、楠木、杂木等[86]。用这些木料制作的钻治工具有：

木柱（即用木制的表导套管，材质与木竹区分，但下入井内起隔水作用相同）、悬棒、正心、木千子、木龙（原为木制，后改为铁制）、罩桶（考大口的斜度或伸直）、揹木等。

木制地面机械有：碓架、大车（又曰绞车）、天车井架、花辊子等。

还有煎盐、运输方面的工具，如地桶、枧窝、盐锅盖等。

（三）铁制工具

在钻治井工具中，尤以铁工具种类最多，论其重要作用，亦居其首，在钻井、打捞、修治井等方面起着开路先锋的作用。

用铁、竹、木（尤以竹、木）的简单材质，制作出的各种巧妙工具，突出优点是：

第一，取材容易。四川土质，气候宜于竹、木生长，遍及山野，因此材料来源十分丰富。同时外省（如滇、黔等地）亦源源不断供给。

第二，工具轻巧。所谓轻，是指钻治工具重量轻（不包括天车、木柱等）。除钻井工具在100~200斤外（包括铁工具、竹工具、麻总的重量），其余90%左右的各种工具只有几十斤，最轻不足一斤。由于工具轻，所以容易制作和修理，钻井时安全，同时便于搬运、升降和操作。

所谓巧，是指钻治井工具制作巧，功能奇特，能适应地下各种复杂情况。而且用这些铁、竹、木（用麻捆扎）工具，钻深1 000米多。例如，把手制作工艺非常简单，用楠竹剖成四块，长约1米，在一小时内制作成功，重量不过数斤，但用途很广泛（在钻井、打捞、补腔等方面均用），凡入井的各种工具连接部分都少不了它，是一种通用工具，有人称它是一种“万能”的工具。又如，转槽子、活偏尖等都是非常奇巧的工具。

**五、种类齐全，成龙配套**

我国清代井盐用了相当科学的机械打井，可从今天燊（兴）海井、东源井现

场保存下来的各种机械设施得到证实。地面庞大的转盘绞车（俗名大车）、巍峨的天车、奇巧的碓架（一种杠杆机械）与钻治工具既有分工，又与地面、井下的密切配合，相互成龙配套，功能奇特，协调自然，钻采地下资源，令人叹服！

除地面机械与钻治井工具成龙配套外，还有工具之间的配套：如，钻井工具与打捞工具的配套，打捞工具与辅助打捞工具的配套等。即钻井工具→打捞工具→辅助打捞工具→补腔工具是成龙配套的。连接工具→钻井工具→扶正工具也是统一配套的。

井盐工具的另一个特征是加配许多附件，发挥其协作的功用。如，银锭锉、马蹄锉、垫根子锉等下井前，在其锉杆上加扎一对或两对梭边、梭皮，其直径略小于井径，以此扶正锉具，使锉具正心对准井腔的中心点，保证所锉之井垂直和规圆。又如打捞工具独脚棒、柳穿鱼等，铁杆上必须扎配两匹竹质窝弓，其作用除扶正功外，因窝弓具有弹性，可迫使打捞工具紧贴落物便于捞取。再如，提须、偏肩、木笼、虎舌等，铁杆上必须加配可上下移动的腰紧壳子、虾子壳子、叉叉壳子，协助抱取井内泥沙、岩石、土块等。又如，具有自然弹发力的打捞工具，如三股须、四股须、六股须、八股须等，需加配铁箍子，待抓住落物后，移动铁箍箍紧使落物不致松脱。总之，凡锉在钻进时必须配带扶正工具；凡打捞工具在打捞落物时属于勾取或插松功能的工具需加配窝弓；凡具有抱、啃功能的工具必须加配各式竹壳；凡具有自然弹发力的工具需加铁箍箍紧。因此，这些都是不可缺少的配套附件。

**六、继承与创新相结合**

我国井盐钻治井工具的发展，客观地反映了继承和创新的发展规律。一种新型钻治工具的出现不是偶然的，它是在继承前代成就的基础上，为适应和满足生产发展的需要，逐渐进行改进、创新而日臻完备。

北宋初“圜刃锉”和“卓筒井”的发明，正是我国先民在大口盐井取优弃劣的基础上，并借鉴了农业工具如杵臼、辘轳、桔槔、水碓等机械的原理，从而诞生了深井钻凿技术法及钻治井工具。从宋代开始仅仅发明几种简单工具，明代发展到 15 种，到清代发展到 100 余种。尽管在各时期工具的形制有很大的变化，但是它们总是先后相承，一代一代传下来了，同时，在继承前代的基础上又有创造，继承与创新始终是结合的，因而也再现了工具时代延续性的特点。

该工具由泥座子、棋子、圆铁杆、蛋壳、扁杆子、肩镫以及一把鸡心状的下刀和竹壳子组成。



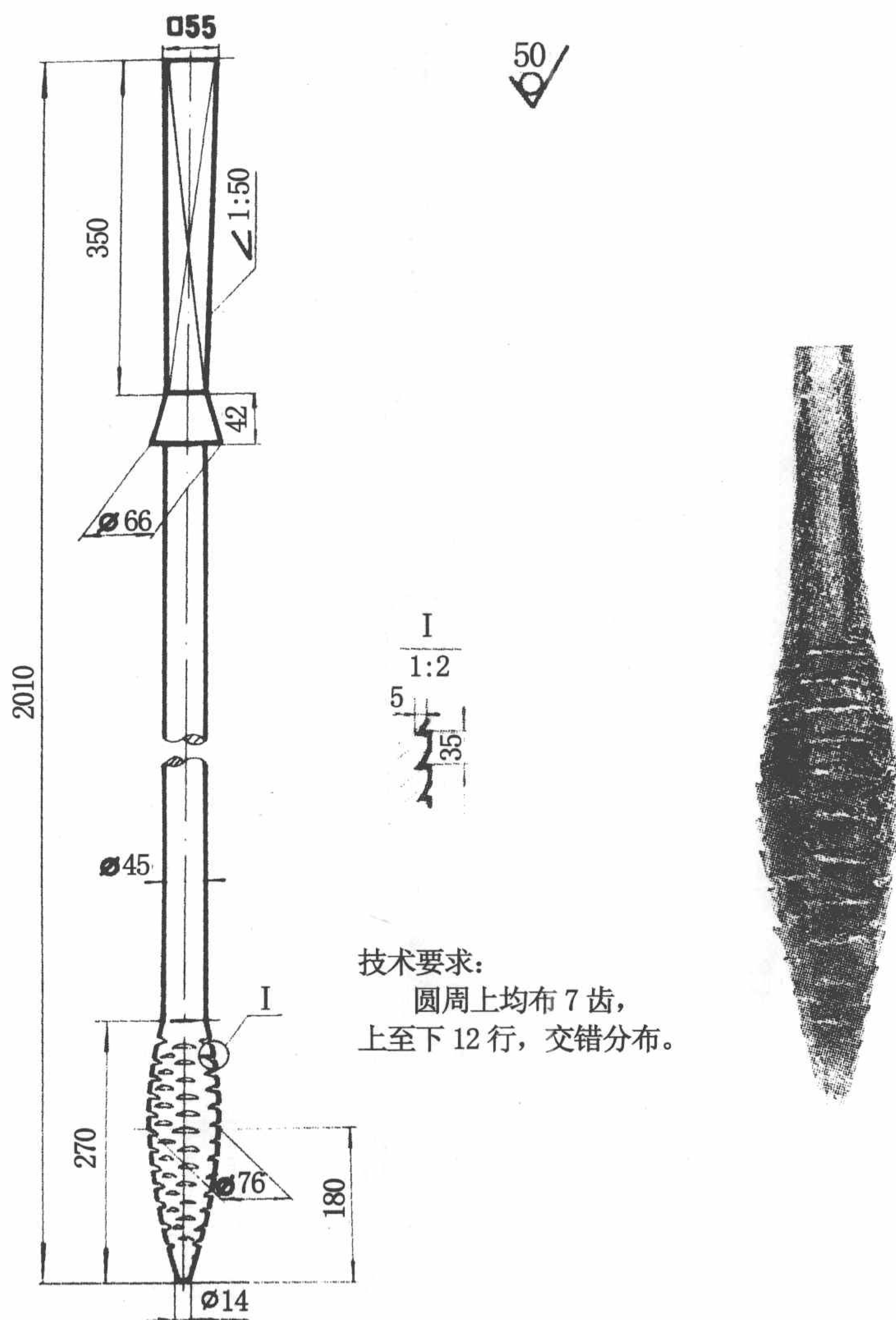



**图6－3　木龙　清代《四川盐法志》卷三①记载**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

木龙，又名木螺、木楞。原用坚木制作，后改熟铁制成。该工具系铁制品。木龙头呈椭圆形，末端较小，犹如橄榄。在史籍里，已列为盐场打捞工具之一。

该工具由泥座子、棋子、圆杆、木龙头、竹壳子（即竹把手）组成。木龙头周圆为七方，每方12列横纹齿，共84齿。史籍称："铁齿皆逆转。"

使用时，将上把手（即把手上部）扎在挺子上，下把手（即把手下部）扎在泥座子上，当撞击落物时，龙头在壳内咬着落物，即可提出。

木龙主要用来捞取落锉、乱麻、断丝及圆形断铁杆等。

① 以下文献记载与此相同者，皆简称"清代"。

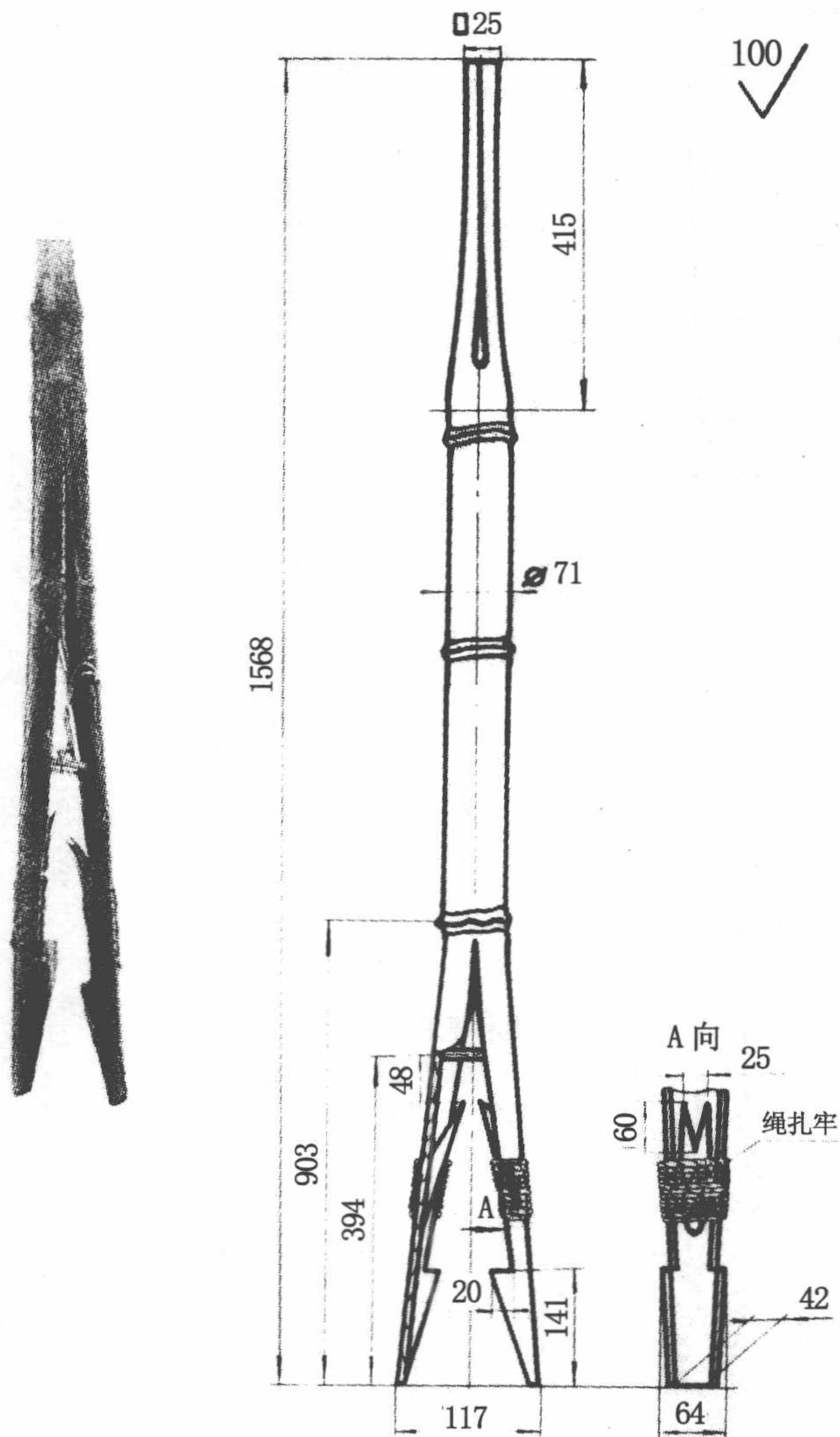



图6－4　夹签子　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

竹夹钎类同铁夹钎。夹钎下端尖削、具有弹性，在197毫米处扎有一对上齿，齿长60毫米，齿距随落件的大小而定。其功能专用于打捞有泥槽的小型锉头。川北的小井尚在使用。使用时将竹夹钎贯入落物两侧提取即可。

活偏尖又名活偏肩，在清代的《四川盐法志》一书里已有记述，称偏尖。早在100多年以前，已成为盐场的主要打捞工具之一，誉称“打捞之王”。



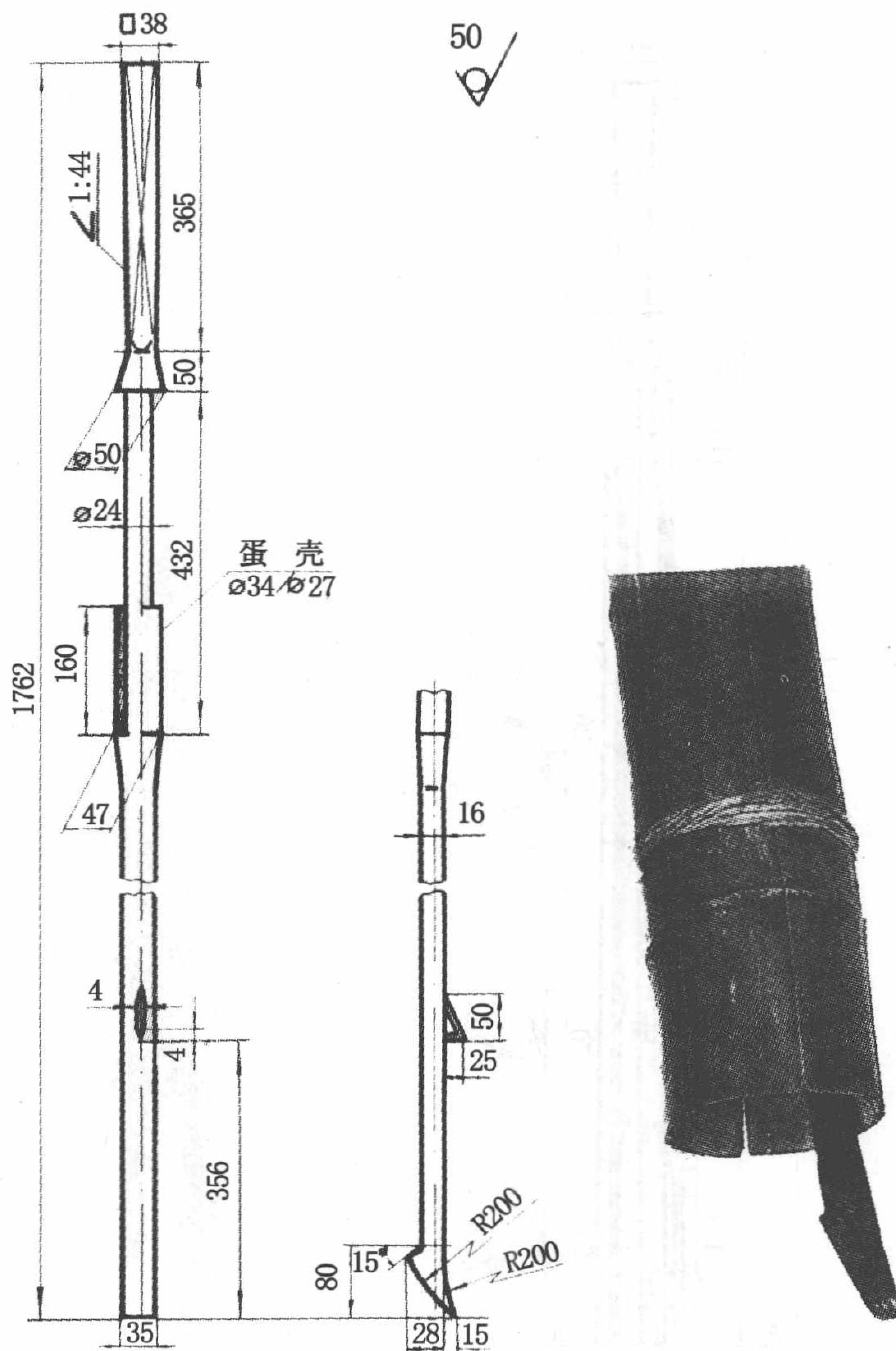



图 6－5　活偏尖　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

使用时，将工具放入井内，使壳子笼在落物竿子上，偏尖镫上提，将落物啃住，再提至腰紧处，便不能活动，然后卡紧上提，落物即出。如偏尖已啃住落物，又被岩石或其他东西卡住不能上提时，即用挺子撞击偏尖的泥座子，使偏肩的小刀往下移动，割断腰紧处的麻绳，壳子即散开，然后取出偏肩，不致再发生事故，故可攻可退。

功能与用途：主要捞取具有大、小锉杆的锉具和其他工具的铁杆。



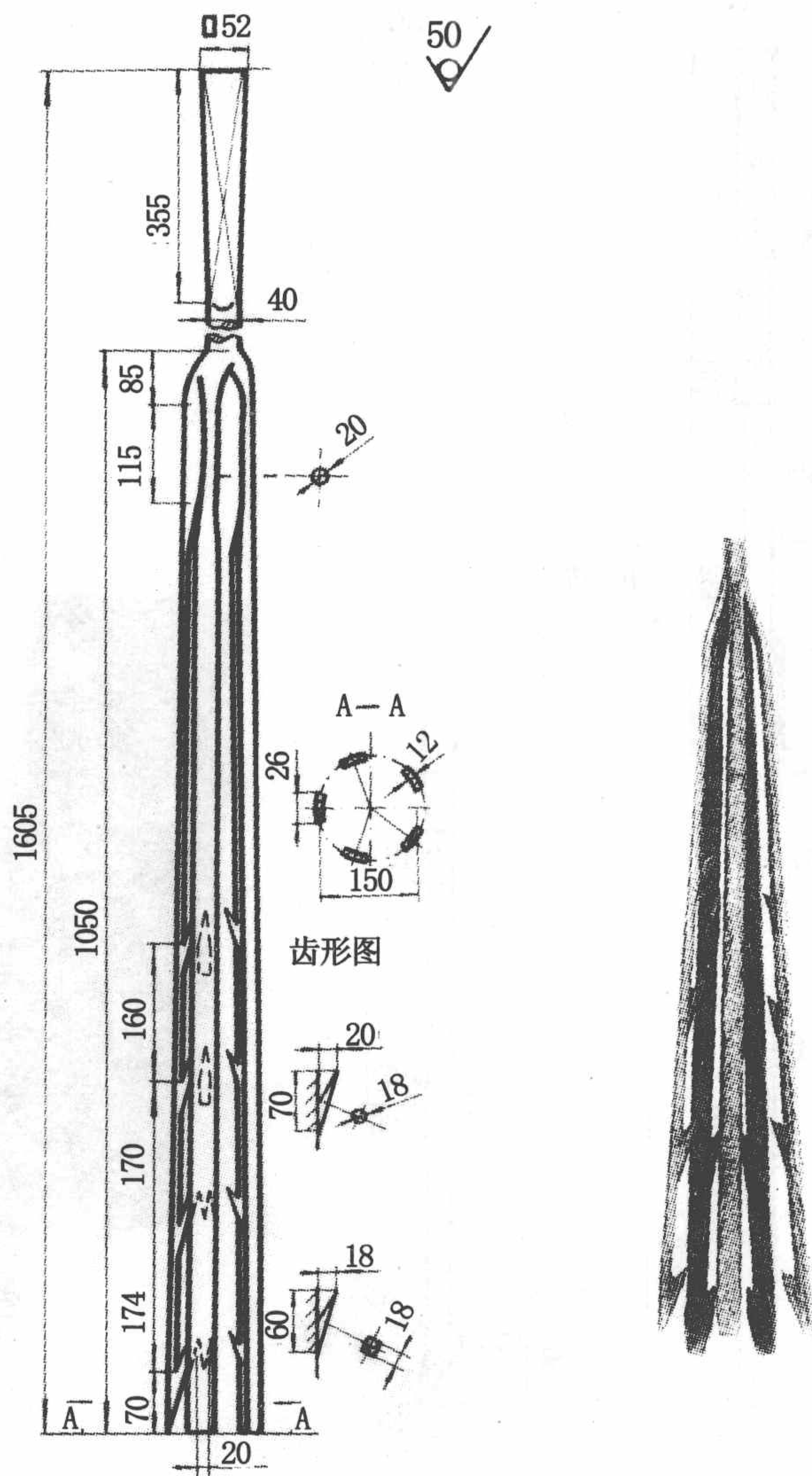



**图6-6　五股须　清代**
**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

相传此工具为清代老技师颜蕴三所发明，曾在处理断丝、断篾造成的落锉事故中起过重大作用。现在钻治井所用的卡瓦打捞筒也是偏尖原理的延伸和发展。据说，其捆扎技术在古代师传有别，只传子，不传女，是被神化了的一件工具。

五股须在明代称铁五爪。演化至清代，始名五股须，是主要的打捞工具之一。

该工具由泥座子、棋子、五股圆铁条及竹把手组成。每条内侧从上至下依次排列七齿，上为单齿，其余均为上下错开排列的双齿，共计35齿。齿硬，实测硬度为HRC32。而圆铁条却具有较强的韧性，俾刚柔相济，各用所长。

使用方法和功能：将竹把手紧扎在连接工具挺子上，使五股须呈覆手状，以抓着落锉的把手将其提出井口，并可捞取竹帽筒、大块岩石、小镔铁筒等物件。《盐井图说》介绍铁五爪说："活钎半坠，或坠钎头，下此取之。"



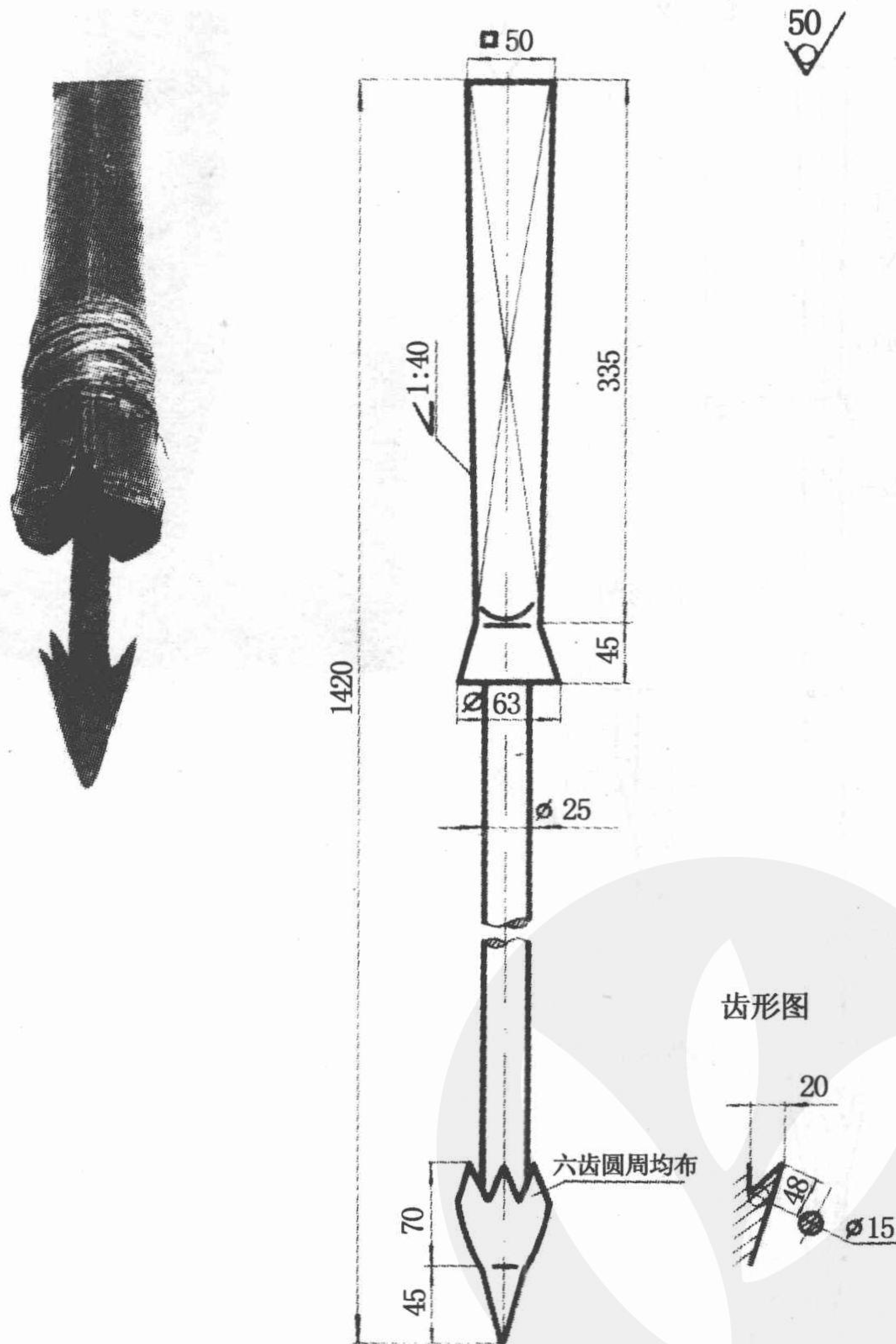


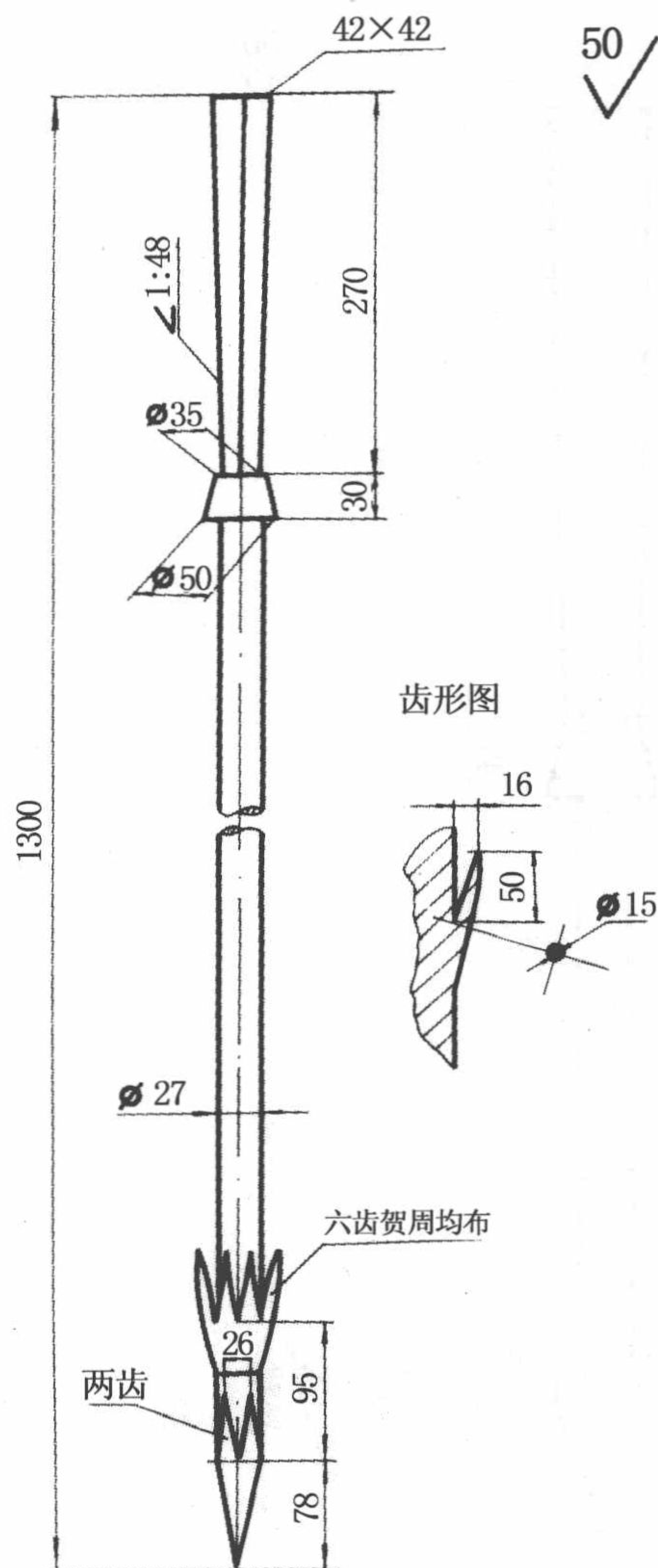

图 6－7　平头提须　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

平头提须，类同现代的外齿捞矛。提须用途广泛，历史悠久，属多种功能的打捞工具之一。早在百年以前用于打捞落锉、落篾、落筒，其后多用于打捞断丝、落筒，抱取泥石、碎铁。由提须衍化改进的有吊脚提须、双吊脚提须、杆杆提须、提须刀、系子提须等。

平头提须，由泥座子、圆铁杆及杆末端的一笼鸡（即 6 颗或 4 颗长约 50 毫米的上齿）组成。

使用时，用挺子连接，并在圆杆上罩套一个较长的竹壳子，放入井内落物处后，上下提动，即可罩住落物完成打捞任务。





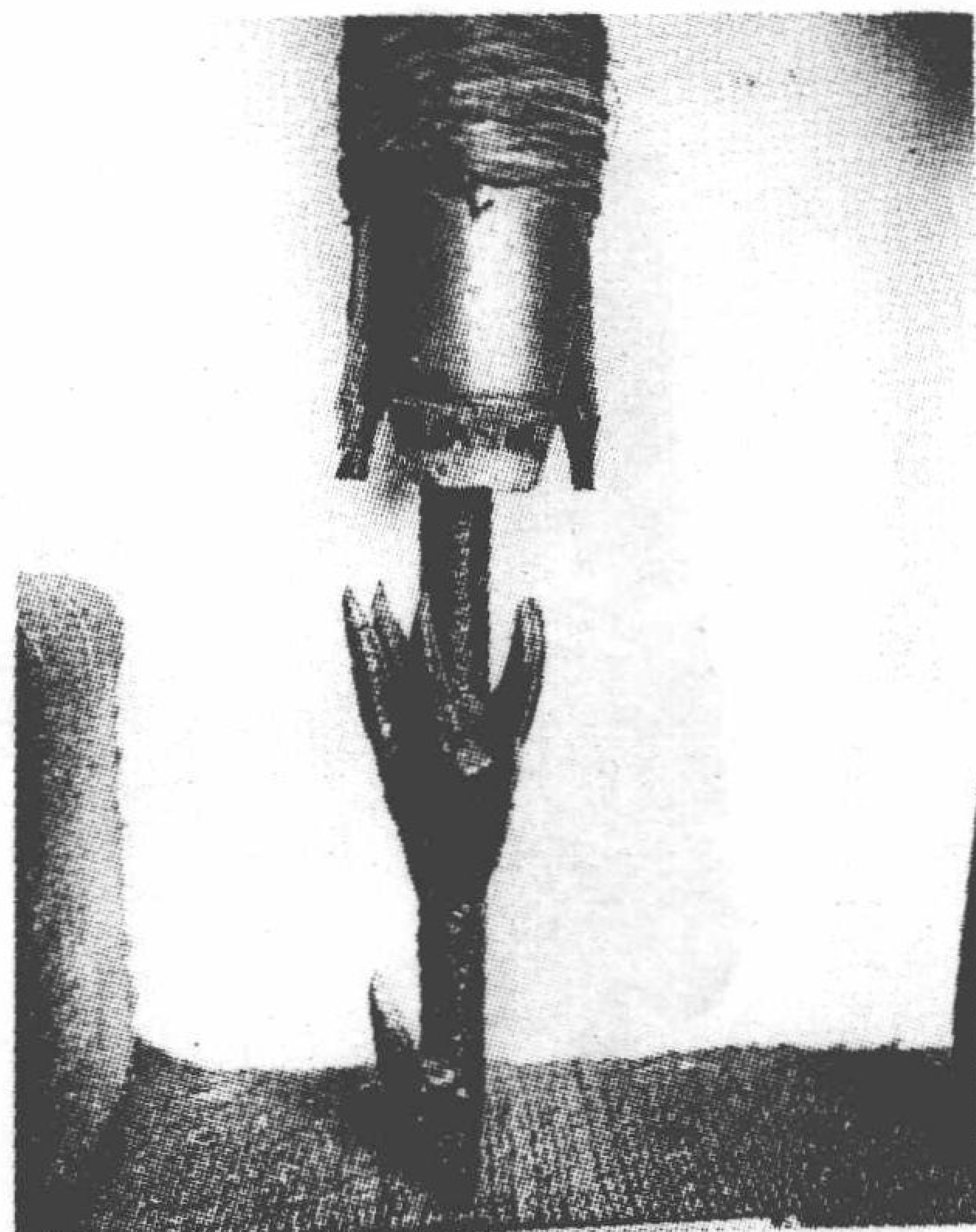



**图6-8　吊脚提须　清代《自流井风物名实说》记载**
**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

吊脚提须又名提须子，其名始见于清代《自流井风物名实说》。与现在的捞绳矛（或称外齿捞矛）极为相似，是打捞绳索的有效工具。

该工具由泥座子、棋子、圆条、一笼鸡、竹壳等组成。泥座子上扎有竹把手，其下为棋子，棋子下面为圆条，条上笼有上小下大的四块楠竹做的竹壳子。《四川盐法志》谓："上狭而下阔的洒拉口"，即唢呐口，竹壳底端开有四个小口。铁条底端为圆尖形，上有双齿，再上为一鸡笼，系六颗齿，作放射状，呈圆周场布。竹壳子在棋子与一笼鸡之间可以上下提动。此工具除竹壳外，齿为中碳钢，其余为低碳钢。由于井径大小及捞取物不同，其规格有大、中、小之分。

使用时，将把手扎在挺子上，放入井内落物处上下提动，使"竹壳徐脱下罩之"，可将落物勾着，卡紧、提出井口。



功能与用途：如井内发生事故，用以探测井内落物状况，俗称探底，可捞取小型铁器和工具及岩石、乱丝、遗篾等。

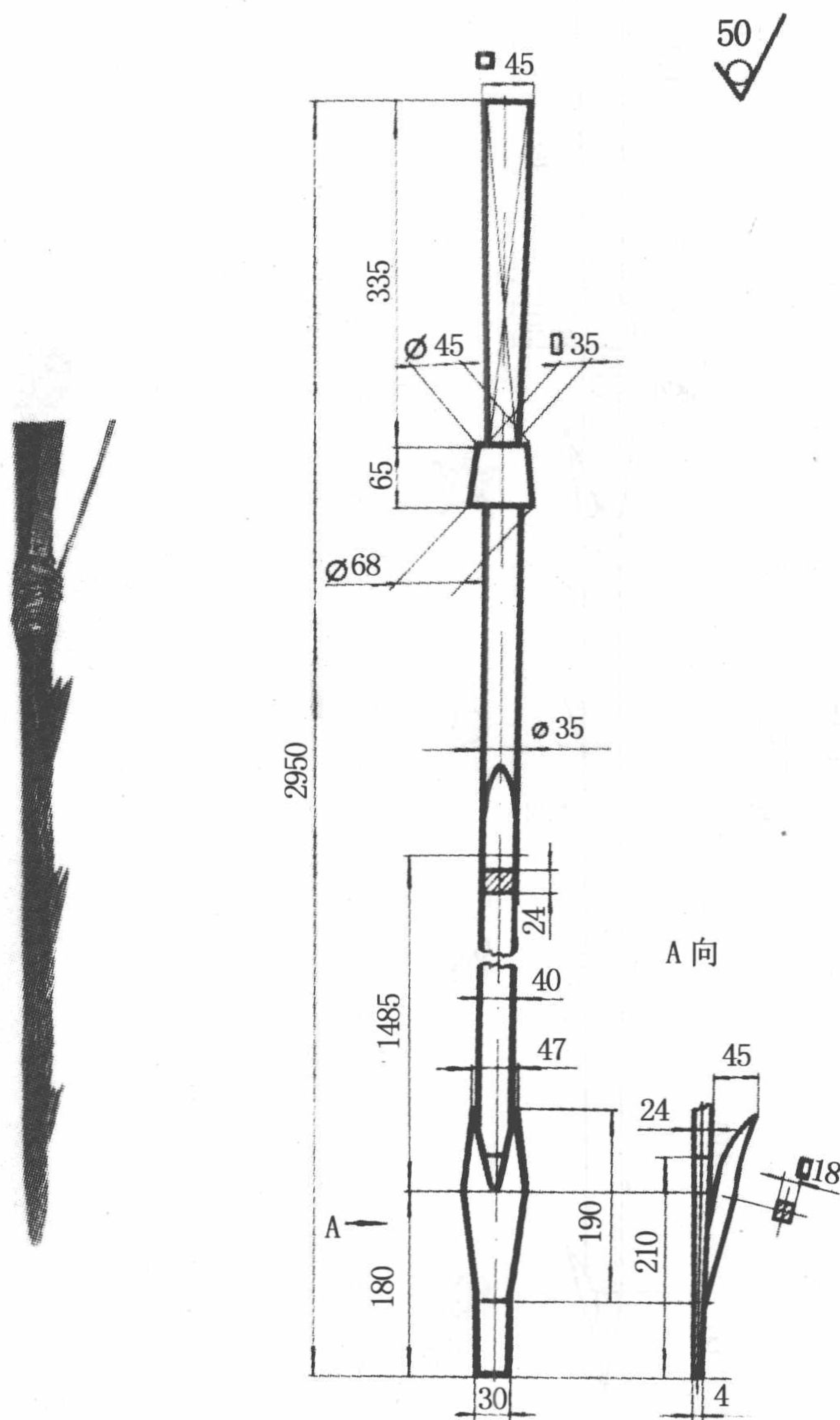



图6-9　独脚棒　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

独脚棒，今名边钩，为盐场经常使用的打捞工具之一。是在明代搜子的基础上发展起来的，清代始称独脚棒。

该工具由泥座子，棋子及一根上圆下扁，底部呈尖形的铁杆组成。在下部扁铁杆一侧有三排齿尖向上的不等距的双齿（俗称螃蟹齿），齿尖硬度实测为 HRC34。

功能与用途：主要用于取筒、翻松泥沙等。据《川盐纪要》载：“补井、拓腔亦用此。”

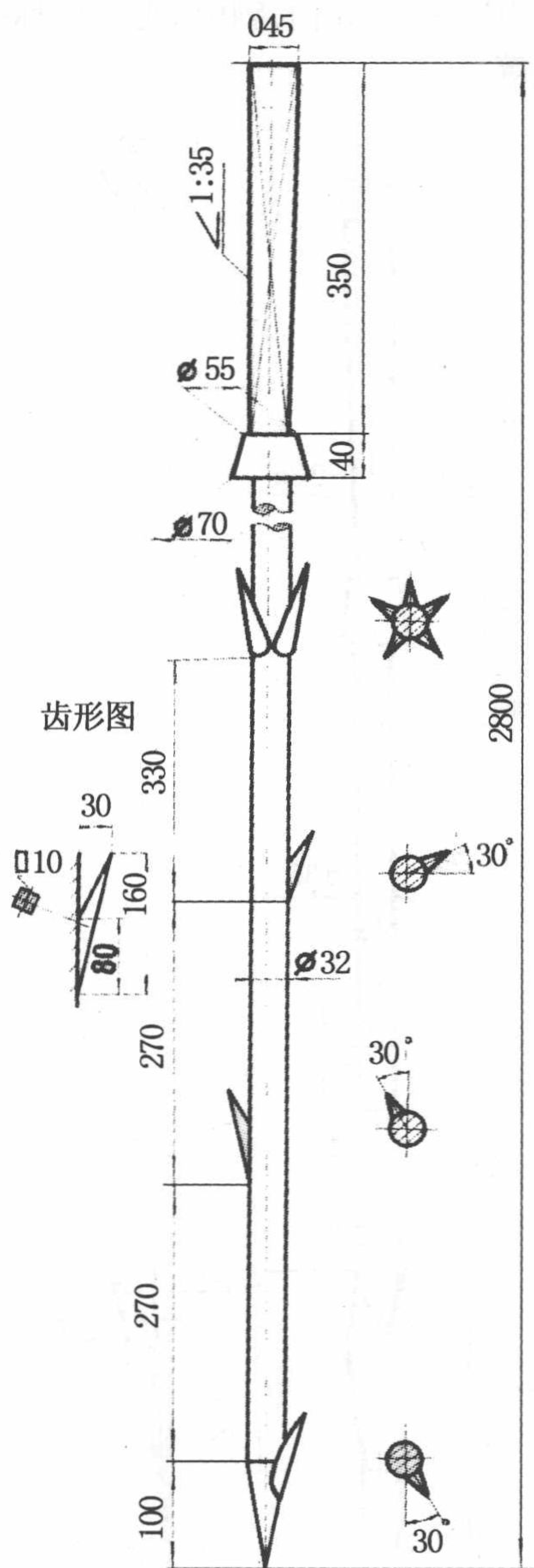



**图6－10　柳穿鱼　清代（自贡盐业历史博物馆藏品）**

柳穿鱼类同现在钻井中所用的“中勾”，是古老的打捞工具之一。柳穿鱼与平头提须、独脚棒等齐名，为盐场“常备武器”。由于其圆杆上的上齿，像杨柳叶子一样，环绕铁杆略呈三角形错开排列，故名。

柳穿鱼长2 800毫米，其长短粗细随井腔及打捞落物的需要而定。

功能和用途：与独脚棒大体相同，但在打捞落物时，可从落井物中间插入进行捞取。

由于柳穿鱼是打捞工具中属于多功能性质的工具之一，因此，“凡井走岩，中泥沙横塞者，用此上下左右疏剔之（曰打空腔）泥沙乃下；如坠篾太多填实井底，



末锐入齿随之顺下而逆取；篾虽重槌不得遽上，亦可提散，再易提须、木笼等物取之，并翻渣浪亦用此。”由此可知，柳穿鱼至少有三种功能：打捞、疏通、撕散。

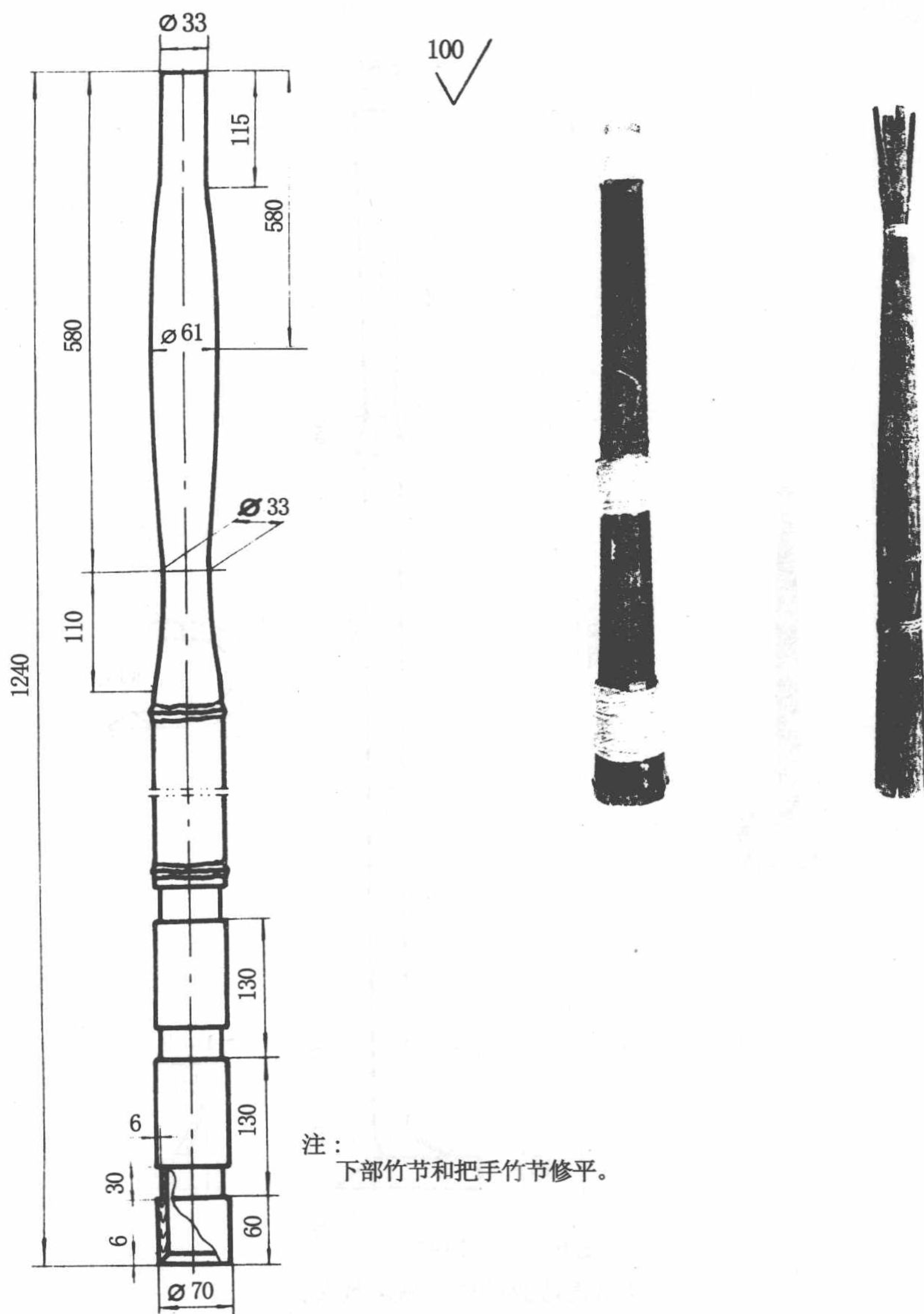



**图6－11　齐头壳子　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

齐头壳子用途广泛，常用来配合偏肩、提须打捞落物；淘井前，试测井径的大小规格；扶正井下工具保持直线升降；保护有齿、有刀的工具不致在井腔内受阻或因此造成卡齿脱落事故。

齐头壳子由楠竹制成。将楠竹划成4块，其底部平直，上部略收小，用麻绳捆扎而成。与齐头壳子外形规格及口皮（壳子底部）稍有差异，功能不完全相同的

还有虾子壳子、腰鼓形壳子、螃蟹壳子、鸦叉壳子、长壳子、短壳子等。

此件全长 1 240 毫米，上部把手及 580 毫米处略向内收紧，其直径为 33 毫米，壳子底部直径为 70 毫米。使用方法：可直接使用，也可外套在其他打捞工具的棋子下配合使用。

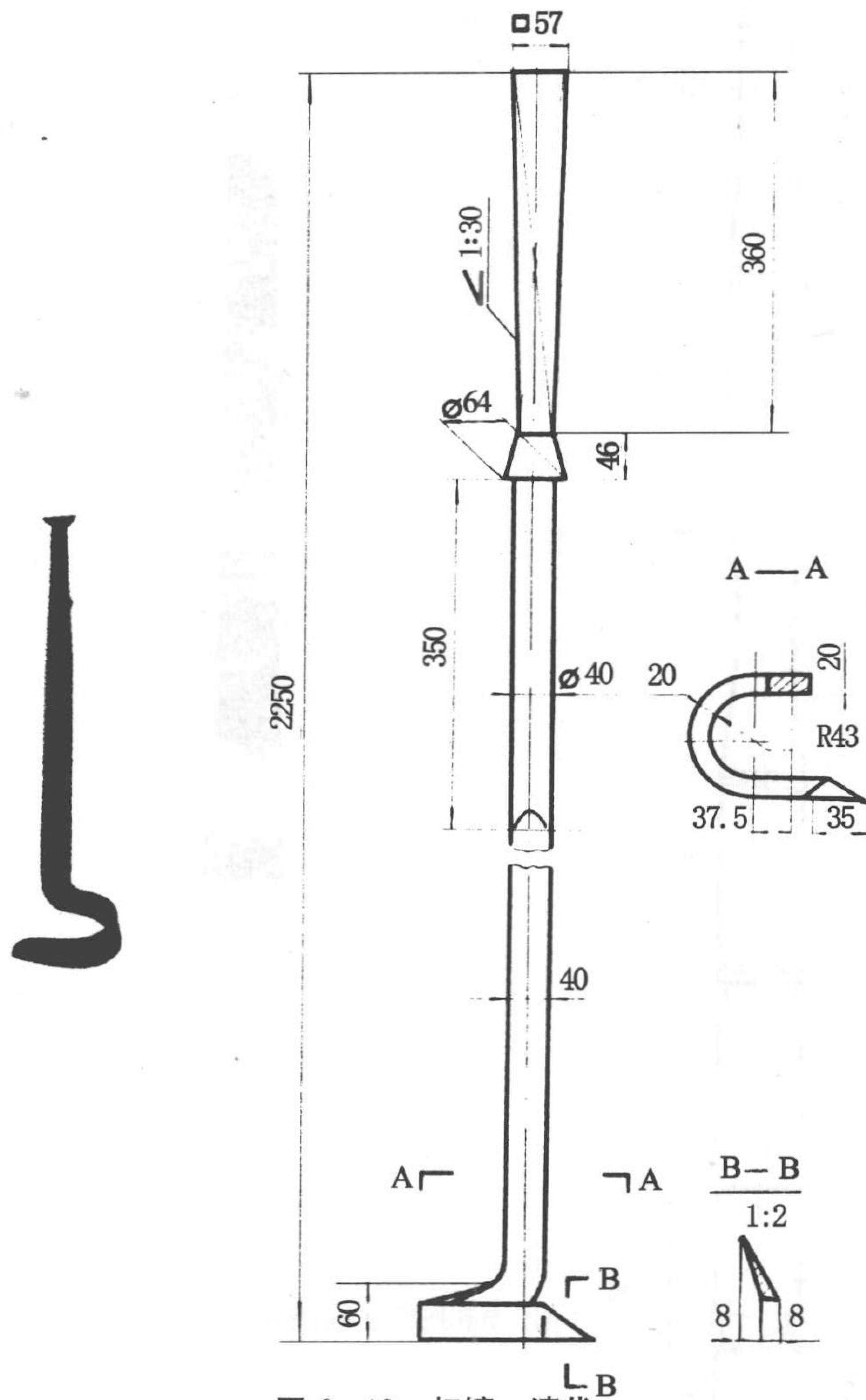



图 6－12　扫镰　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

扫镰由明代搅镰演化而来，具有镰刀的形状和扫帚的功能，因此得名。在清代史籍中已作详细记述，为盐厂辅助打捞工具之一。

该工具由泥座子、棋子、扁杆子及镰刀头组成，刀在扁杆子底端呈镰刀形弯曲，圆径略小于井径。

使用时，将把手扎于挺子上，放入井内至预定位置时，进行旋转，搅扫落物。

功能和用途：将斜卡在腔内或裂缝内的落物扶正直立，再配合其他工具捞取落物。



图6－13　松球子　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

松球子，锉头呈椭圆形，像松树所结的松子，清代史籍介绍说：“末微椭圆，如松树所结实，曰松球”，故名，至少有100余年历史。

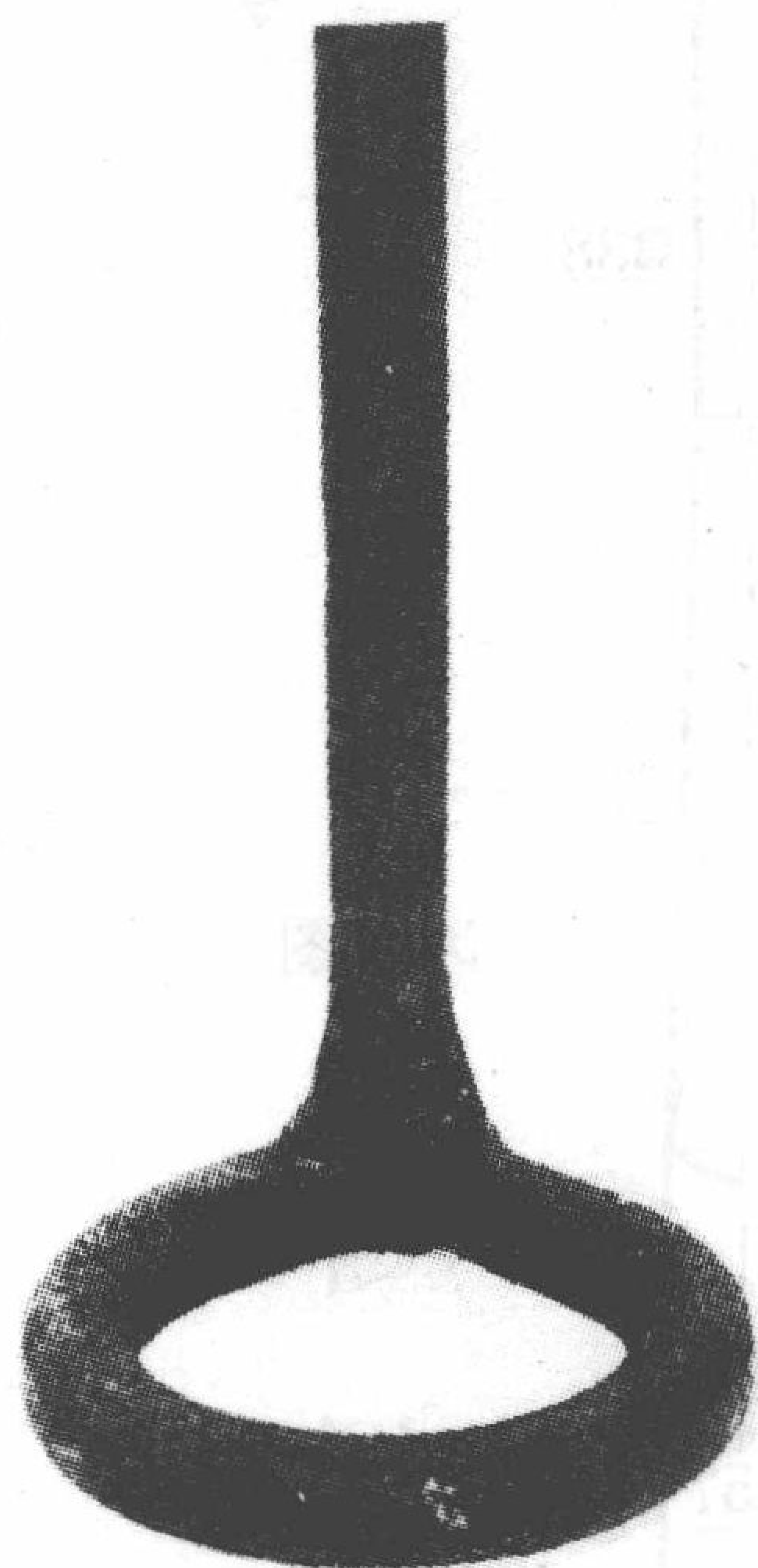
该工具由扎有竹把手的泥座子、圆杆及锉头组成。锉头底部略呈圆尖状，锉身大略划分成7个条方，每方凿有18个下齿，为了安全，另备一条龙筋丝（即安全索）扎在竹篾或钢丝上。

使用时，将把手扎在转槽子上，龙筋丝扎在转槽子顶端1.3米处之丝上。

功能和用途：能将槽眼的起点处锉刮成大圆口，以便其他圆锉继续下凿，又可锉断井腔立缝中支出的碎铁和碎镔铁，如遇腔内落有并立的锉杆数根，也可用




以挤开，再用其他工具捞取。



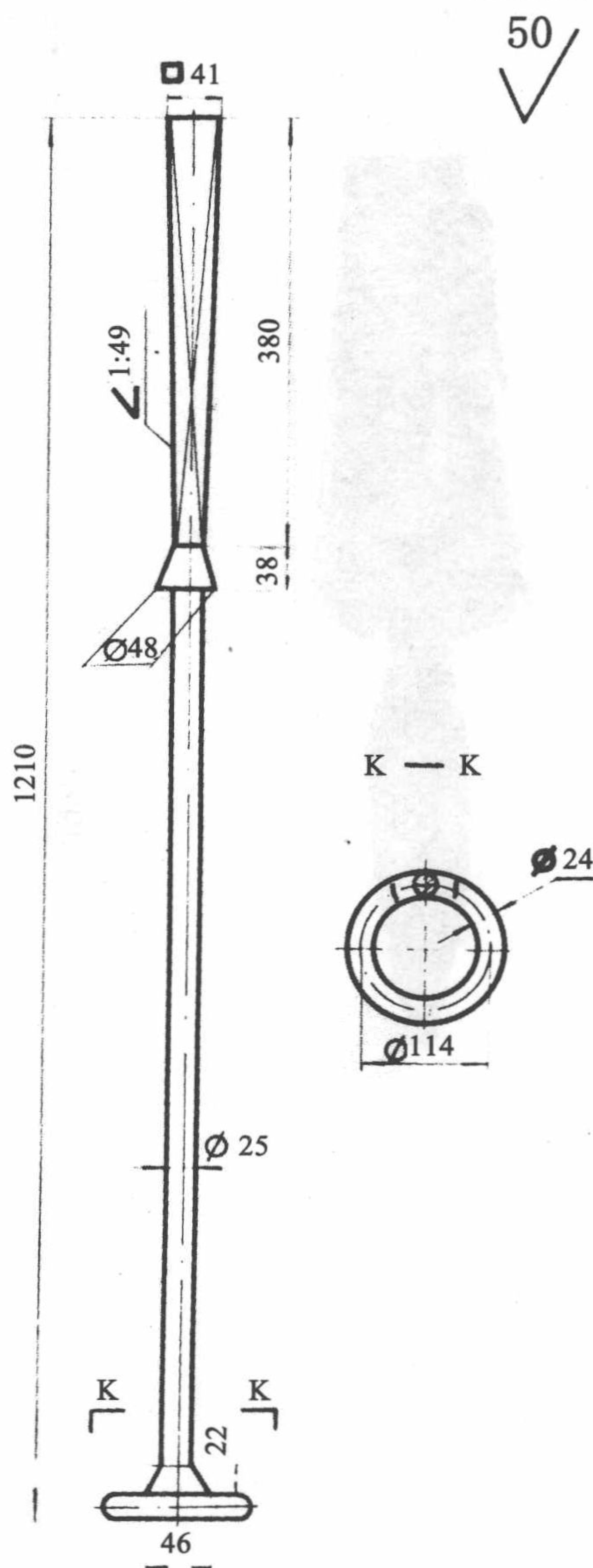



图 6－14　催子　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

闭口催子，又名催子，是辅助打捞工具之一。

该工具由泥座子、棋子、圆杆子及圆铁环组成（也有用扁平铁环的）。铁环节在圆杆子底端，环的大小视井径大小而定。

使用时，将铁环穿套在井内发生事故的丝或篾中，逐步放至阻塞处，即反复撞击下蛋门，至卡入槽内的丝篾理出为止。

功能和用途：能将卡入丝槽内的丝篾推出槽口。如遇泡岩将帽筒顶部卡住，又可将岩石撞碎散落井底，用筒推起。

另据盐法史籍记载："用一长条末屈铁作一圈曰催子用抱爪下井，似爪张开，



将遗物提起，则再用催子由柄套下，爪即敛，抱物不遗。”由此可知，古代催子的用途与上述工具略有不同。

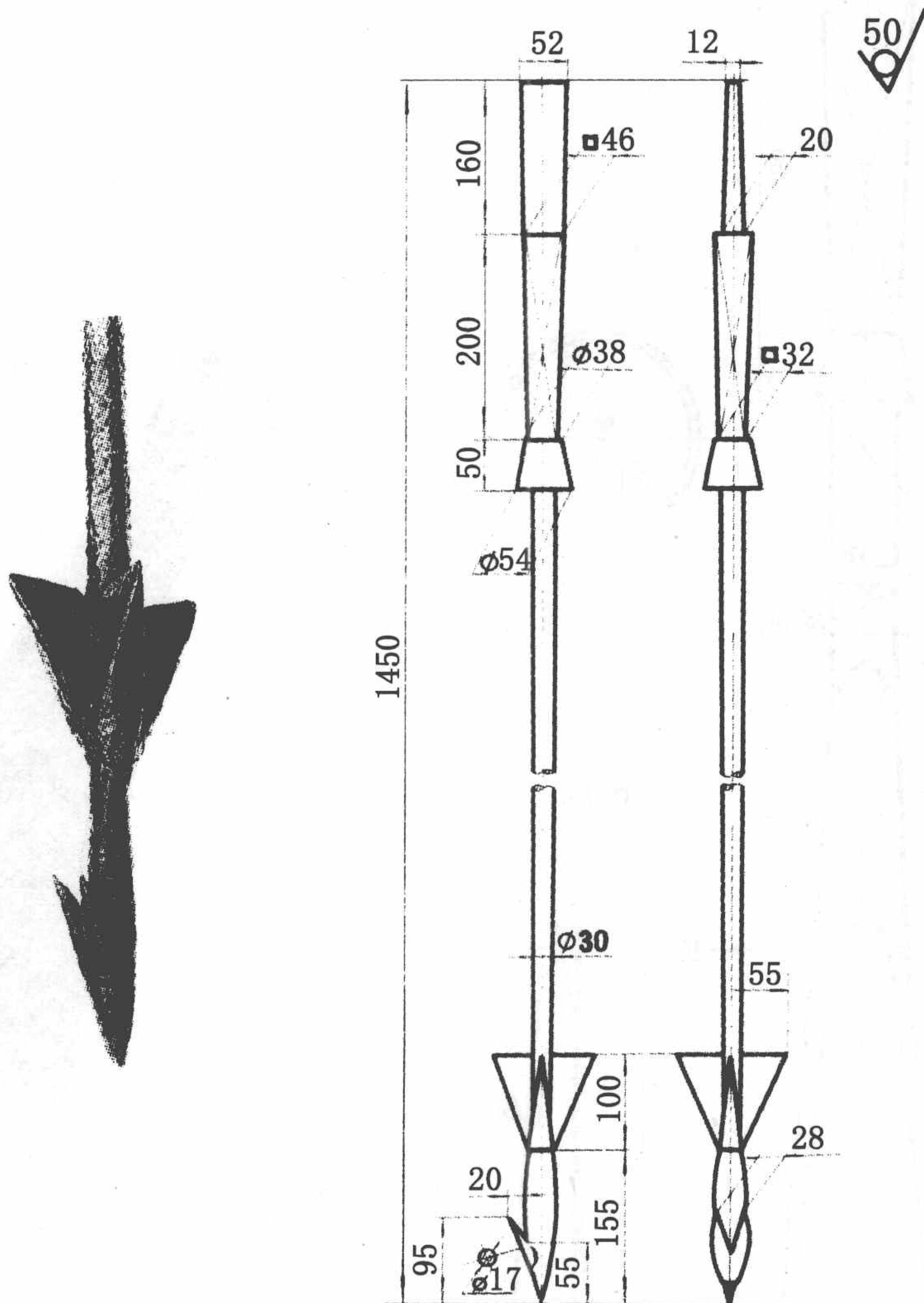



**图6－15　提须刀　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

提须刀是在吊脚提须的基础上发展而来的。由一笼鸡（六颗上齿组合在一起呈倒伞形排列为一笼鸡）改为四把上刀即成。此件全长 1 450 毫米，有泥座子、棋子、圆铁杆、四把上刀、一对羊角齿组成。四把上刀呈“十”字形，排列在提须刀末端往上 155 毫米处，须刀长 100 毫米，宽 55 毫米。其功能和用途与独脚棒刀等略有不同。提须刀可以四方划破、割断丝篾以及丝篾疙瘩，并用羊角齿钩捞落丝出井，使用方法与独脚棒刀等相同。

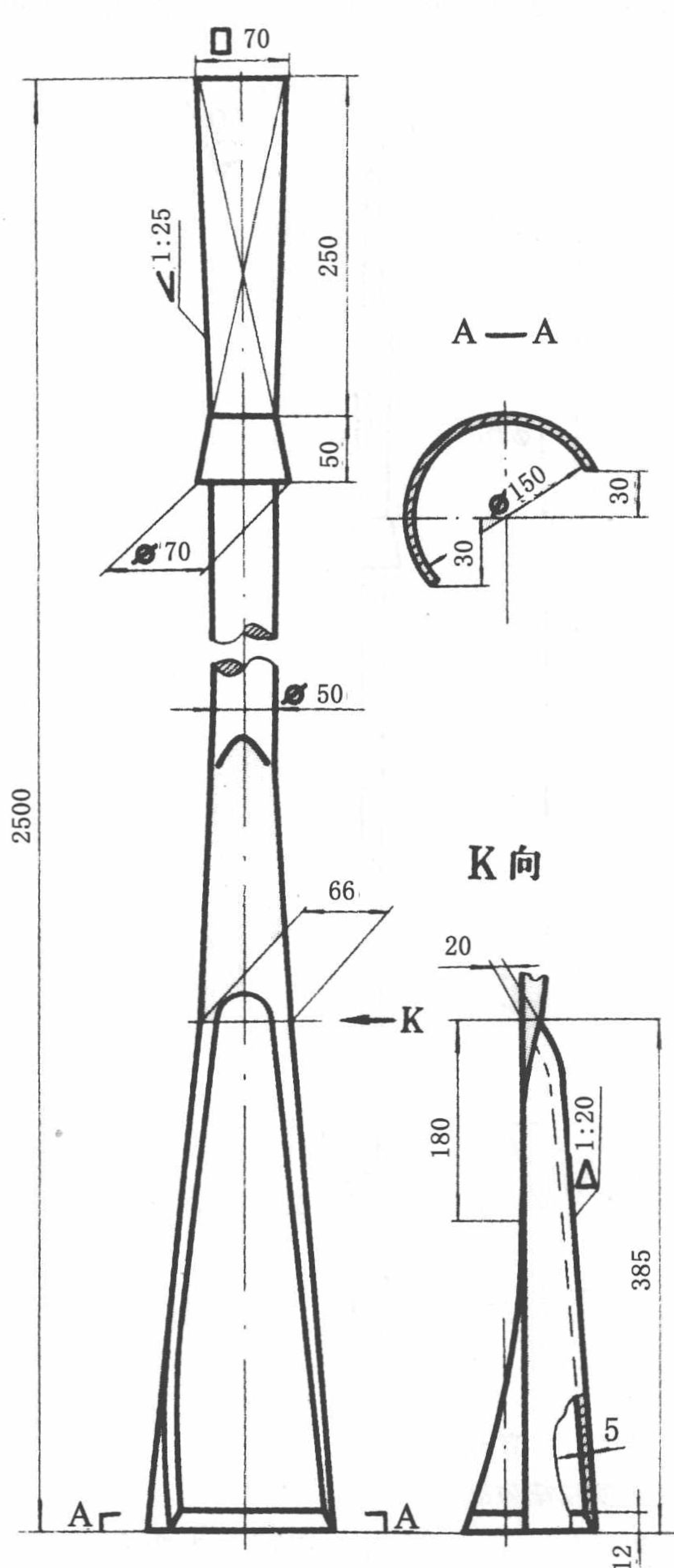





**图6－16　拐（右）脚瓦口　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

拐右瓦口铲简称拐右铲，与拐左瓦口铲为一对呈长瓦形铁铲。主要用于铲松落入井内锉头与锉杆周围淤积的泥沙。拐右铲可从落物右侧铲进，拐左铲从左侧铲进，针对泥沙淤积的实际情况决定选用。

拐右铲全长2 500毫米，由泥座子、圆铁杆及拐右铲头组成。圆铁杆直径50毫米，铲头高385毫米，铲口直径150毫米，铲头背面凿有长18～20毫米、深1毫米的点状下齿。



使用方法：将把手扎在转槽子上，放入井内，铲口（铲的刃口）包围落井锉头及锉杆的侧面，上下提动，铲松周围泥沙配合扁肩等将落物打捞出井。

图6－17　草鞋板　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

草鞋板铲，外形像一只草鞋，故名草鞋板。在清代已为盐场辅助打捞工具之一。

该工具由泥座子、圆杆、草鞋板组成。板的上端稍斜，略向腹部弯曲。板的腹部另附其他铁件，如乌龟背或下刀等，名称则为草鞋板乌龟背，或草鞋板下刀。本图为下刀型，其两侧各有七颗齿。

使用时，将把手扎在转槽子上，下入落物侧，进行上下撞击。

功能和用途：主要用于铲松落物周围的泥沙，铲的腹部下刀的刀刃和排齿，

可宰断和锯落（俗称冼）把手和把手上的铁箍，以便再用其他工具捞取落物。

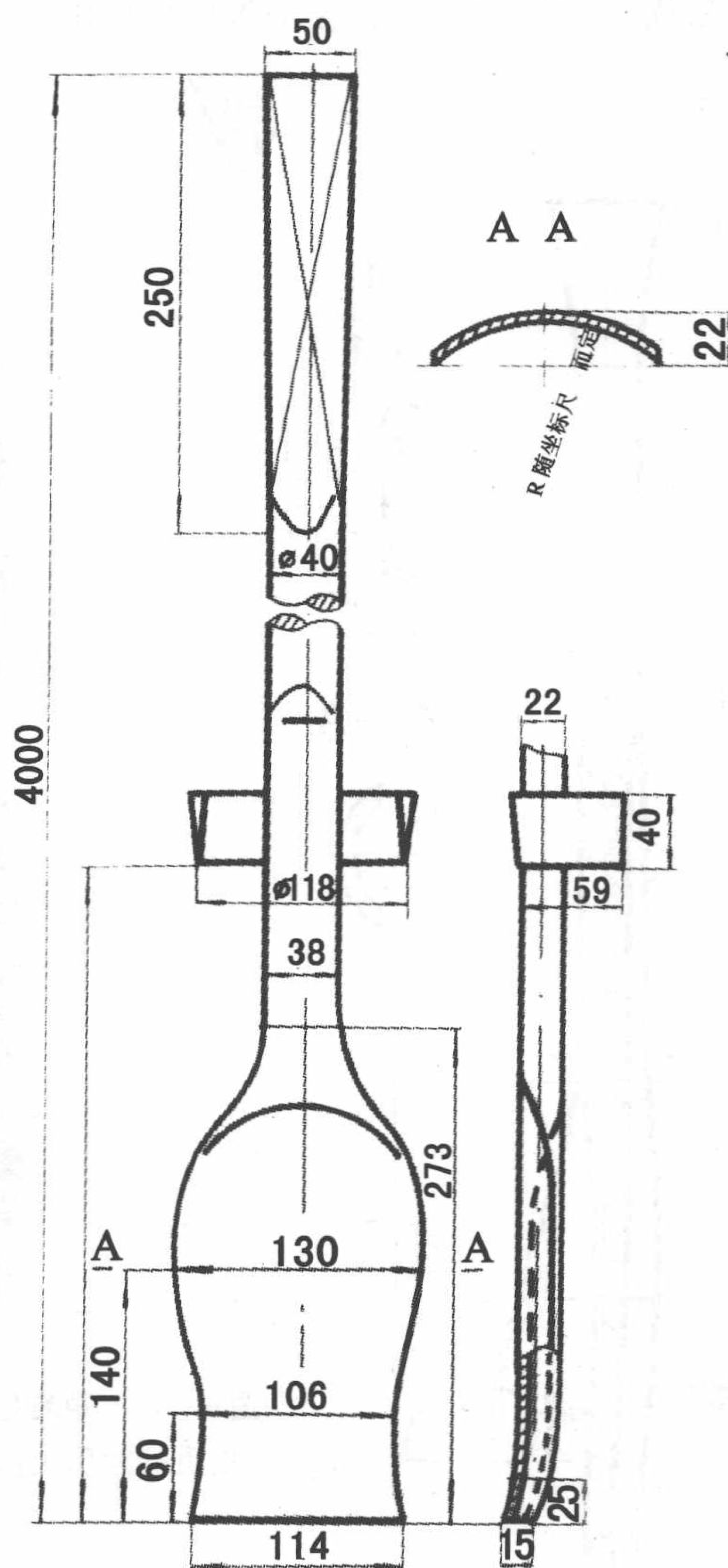



**图 6－18　牛耳朵瓦口　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

牛耳朵铲，又名牛耳朵瓦口，因瓦口形如牛耳，故有此名。早在清代已使用这种工具。

该工具由竹把手、泥座子、圆杆、牛耳朵铲瓦口组成。牛耳朵铲腹凹背凸、下部逐渐收小，铲口略小于井径。

使用时，将把手扎在转槽子上，放至井内落物旁，然后上下铲削。

功能与用途：主要用于铲松落井铲头的下部周围填塞的泥沙，以便再用其他工具捞出落物。该工具适用于大仄子井（即直径较大的井）。



图6－19　三楞子　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

三楞子，又名三楞子锉。锉头扁圆而长，略如虎舌，横断面呈三楞形，是由四楞子演化而来的，为辅助打捞工具之一。

该工具由泥座子、棋子、圆杆、三楞锉头组成。锉头楞体分作前后两面。前面中线成脊形，分成左右两个斜面；后面略作弧形凸起，楞上均有浅齿。前面除中间垂直外，左右呈“八”字形排列，后面浅齿略带弧形排列。

使用时，将把手扎在转槽子顶端 1.3 米之篾或钢丝上。



功能和用途：井内有填塞物或落井铁器不易捞取时，可用此锉在填塞物侧面另开一眼，再用其他工具继续扩孔、打捞落物。

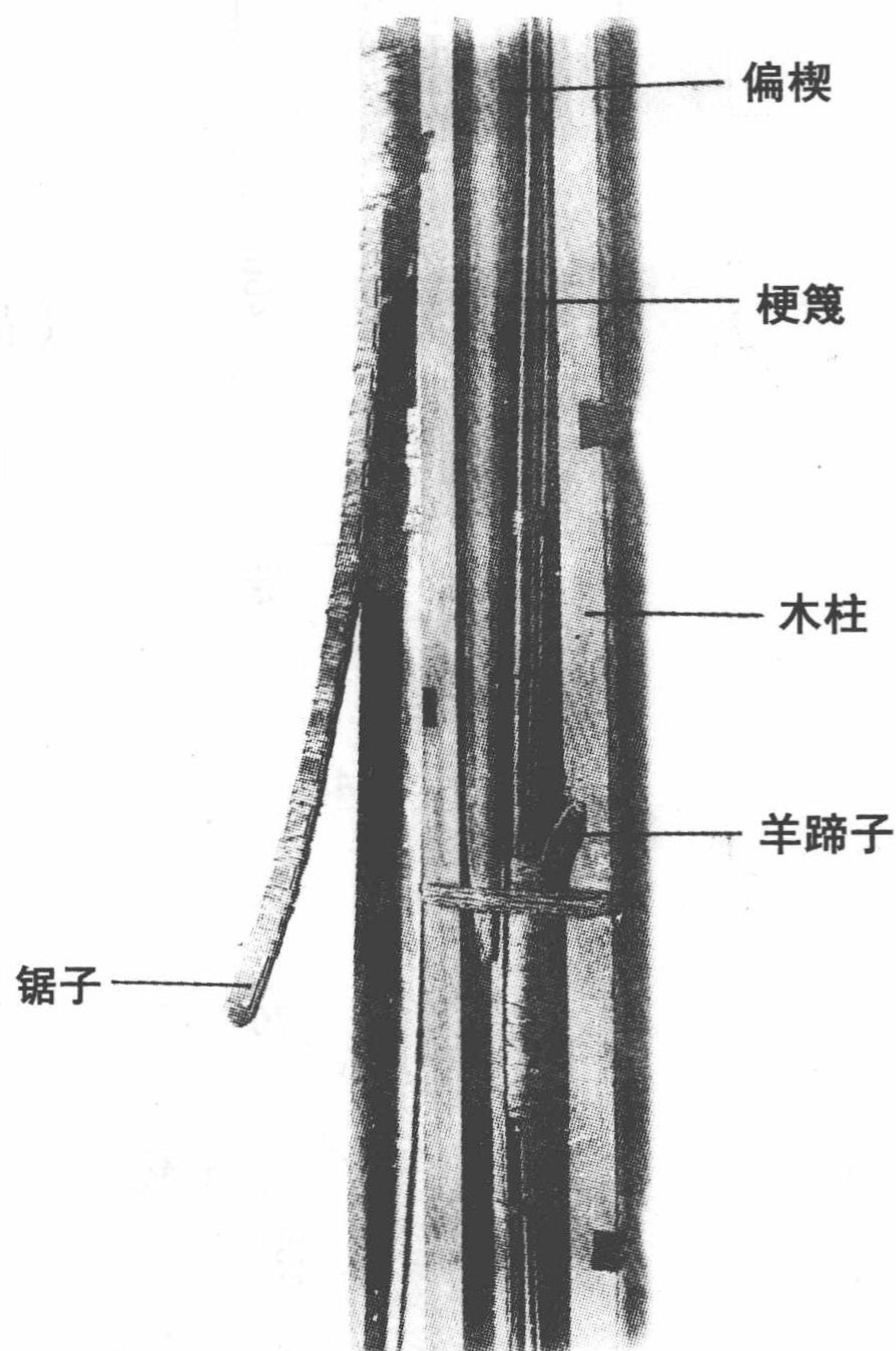



图 6－20　木柱叼换工具　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

这是一套叼换木柱的组合工具，在叼换木柱时，由正心对准井眼中心，偏楔楔紧，羊蹄子啃进木柱，由锯子锯断所换木柱，然后配合地面设施进行叼换。

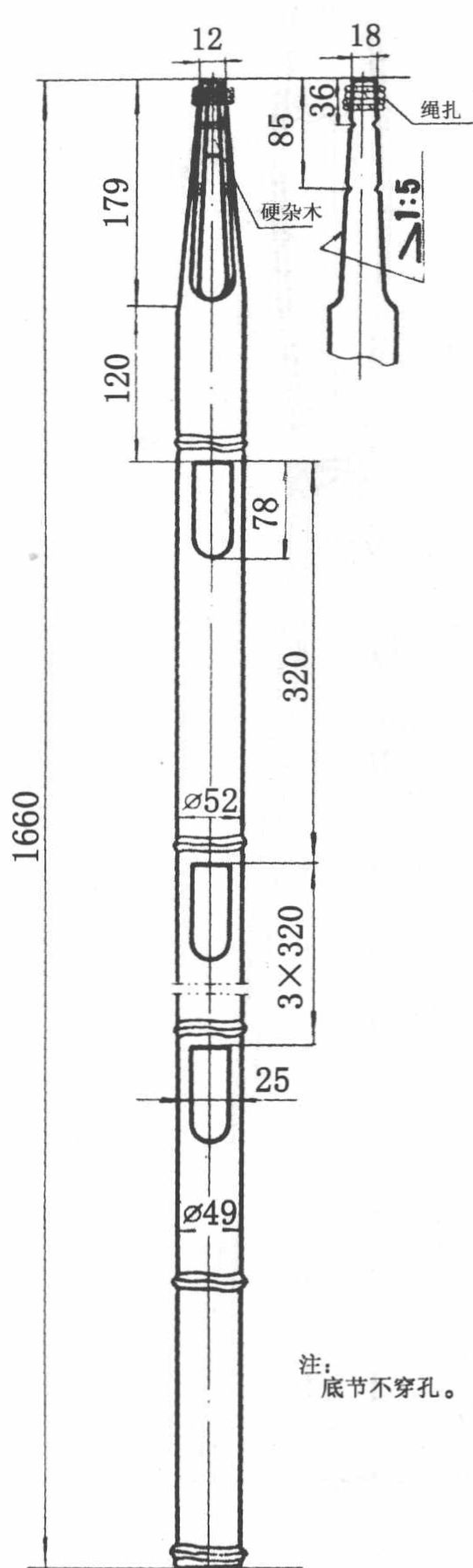


图 6－21　竹发口　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

竹发口又叫发口壳子，属于测补工具类。用一节楠竹将下部劈成四块竹片，然后捆扎而成。此件全长 1 685 毫米，竹片宽 71 毫米，有腰紧，末端可向外弹发，弹发直径大于井腔。其功能主要测考井内由于垮塌等原因造成的井腔（即井径扩大部分）的下口，即下腔盘的位置。

使用方法：将提须扎在竹发口上部，并用细麻将四块竹片末端挤紧扎好，其

直径略小于井径。待竹发口放入所考井腔位置时，上下提动数次，使竹片末端细麻绳散开，竹发口随即弹发。尔后下放至腔盘下口（即竹发口不能继续下放处停止）。此时，在井口的吊索上做好记号，提出井口，测量井腔的深度。



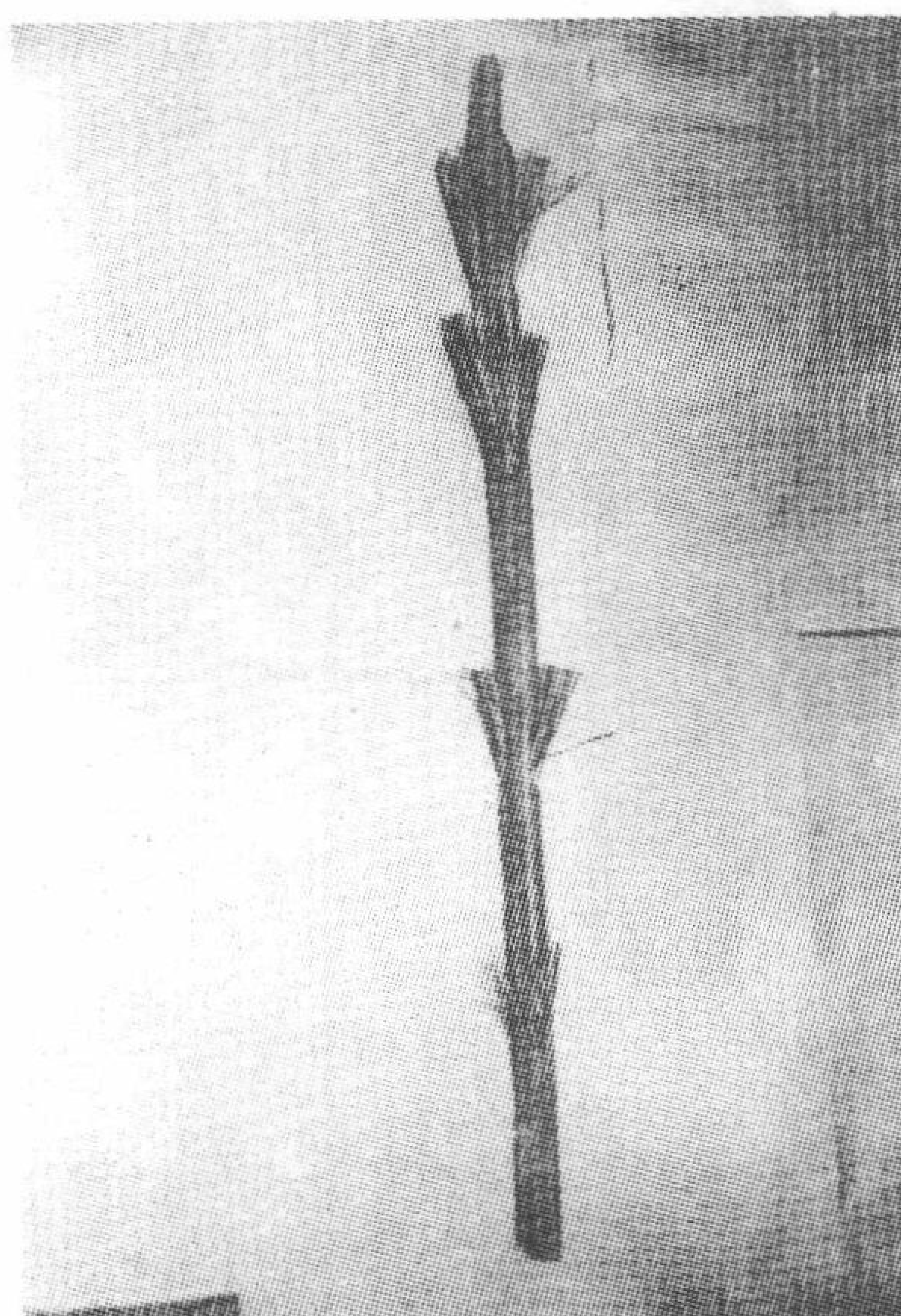



**图 6－22　接水筒　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

接水筒由斑竹或楠竹制成，主要用于查考大口及小眼内渗漏的淡水。此件全长 1 660 毫米，筒的两侧开有窗孔，窗孔之间的竹节及筒底不穿孔，其上部劈有爪子。每个窗口插有引草（稻草捆扎而成）。

使用时，将挺子扎在爪子中间，待接水筒下井后，由引草将淡水引入筒内，分段考察漏水量及漏水位置。



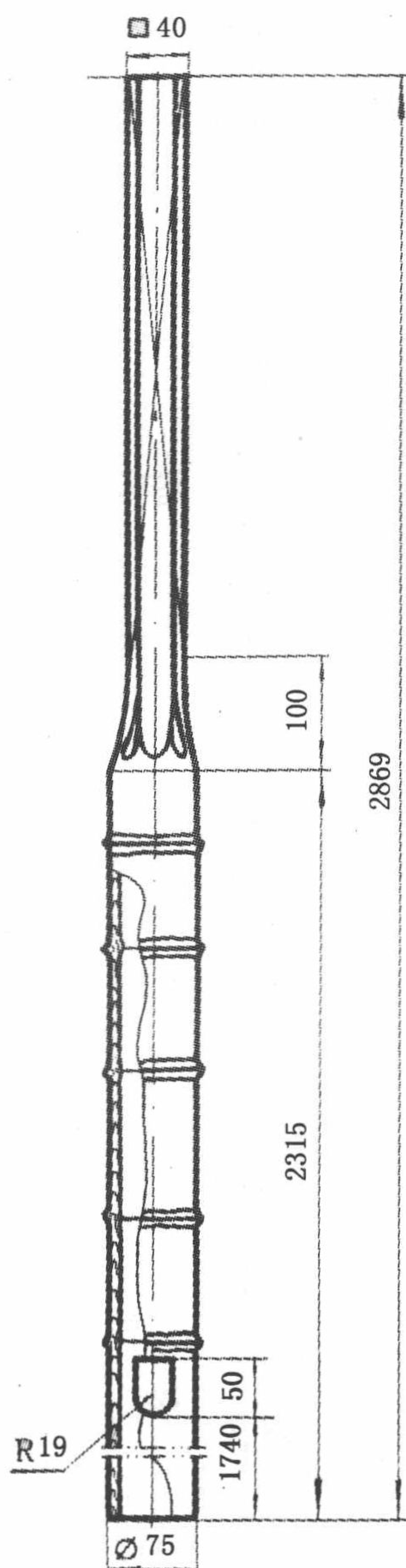





图 6－23　丢灰筒　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

丢灰筒由楠竹通节制成，其结构上部为四块爪子（犹如竹把手），下部为打通竹节的筒身，在筒的两侧开有一对窗孔，筒底用土布包住封口。在筒内附加针篾，有的还在篾尖上扎有铁尖刀，针篾上端扎在挺子中部。

主要功能：送丢油灰填补井腔。

使用方法：把爪子扎在挺子上，将清油灰（桐油与石灰的混合填料）从窗孔灌入筒内，下井至补漏处，用针篾将筒底封口土布划破，清油灰自然流出填满井腔，待油灰稍干后，由旋棒旋挤在腔或裂缝内。



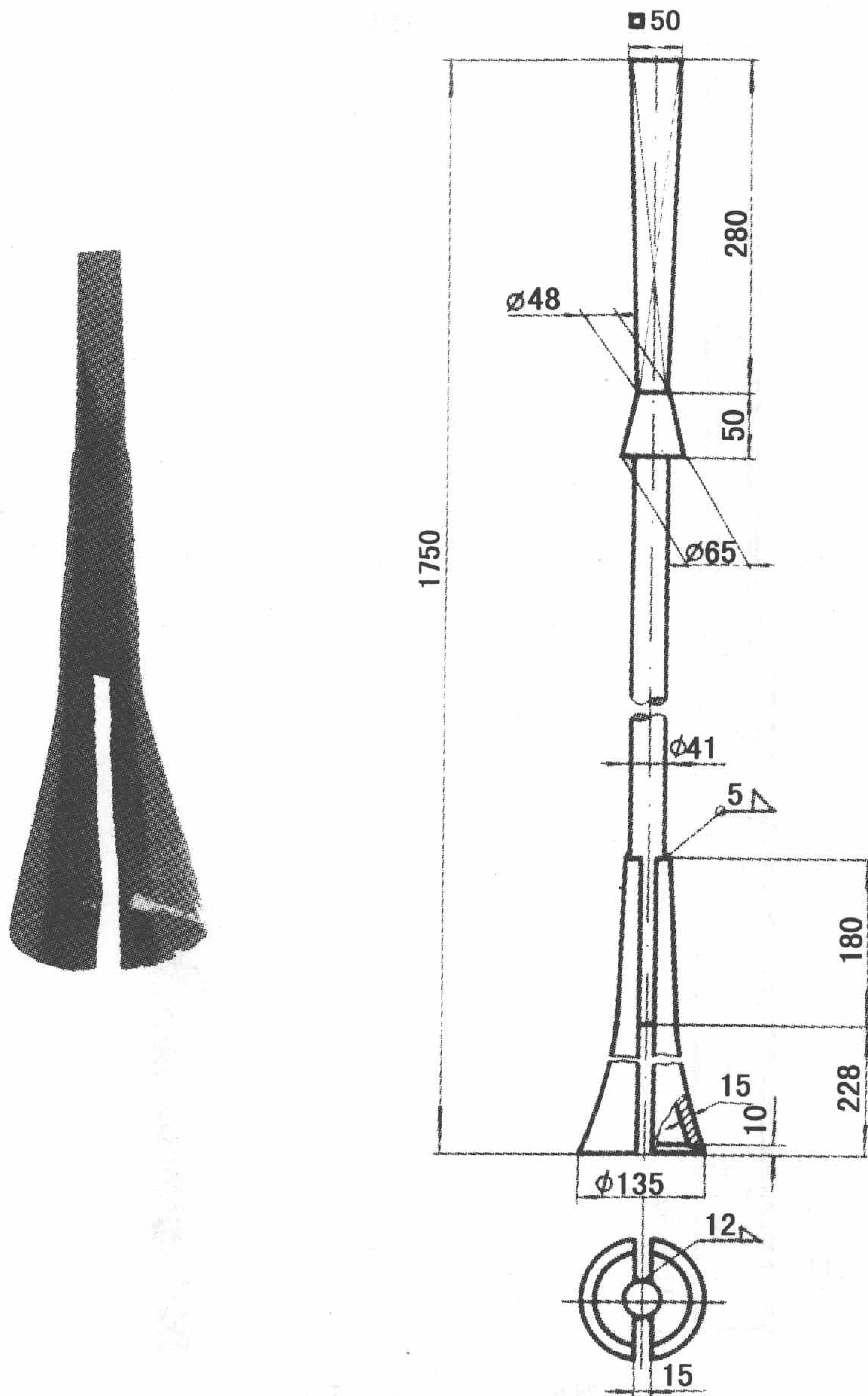


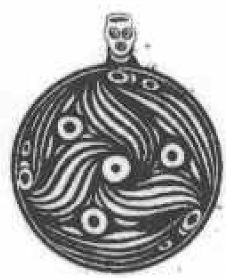

图 6－24　瓦口铲　清代《自流井风物名实说》记载
（自贡盐业历史博物馆藏品）

瓦口铲，是由两把半圆铲合拢而成，是维修井腔的工具之一。

该工具由泥座子、棋子、圆杆及瓦口组成。圆杆上接两根扁杆，下接两把铁铲，刀刃向外稍斜。

使用时，将瓦口的把手扎在转槽子上。为了安全，用一根龙筋丝捆扎在转槽子顶端丝上，铲刃直径视井腔大小而定。

功能和用途：主要用于铲刮井壁盐垢、水锈。补腔后开腔时，用以铲圆井径，亦可铲断或蹬出支嵌在井内立缝中的小铁器和镔铁，以便保持井腔圆滑畅通。



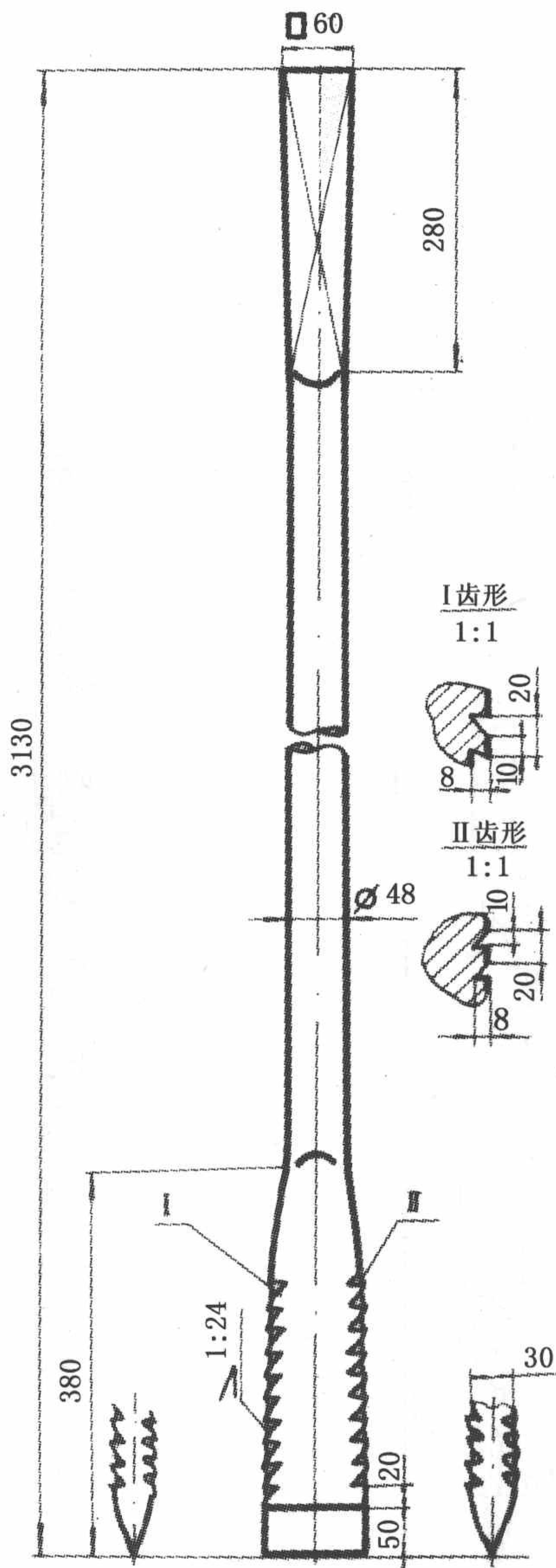



**图 6－25　文财神　清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

文财神与武财神同属修治井工具，是一种特殊扁锉。由泥座子、圆或扁铁杆及扁长形锉头及向下的楞齿组成。此件全长 3 130 毫米，锉头长 380 毫米，其下部为刃角，刃口宽 82 毫米，齿长 8 毫米，齿深 10 毫米。

使用时加配竹把手，并将其捆扎在转槽子上，直接下入落物处。

主要功能和用途：一是凿碎镔铁、大块岩石、折断铁件及竹木麻等井内落物；二是淘井时用以翻松井下沉积泥沙。



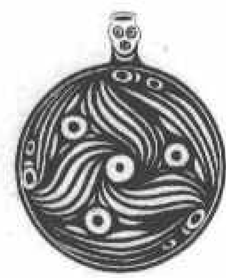
图6－26　霸王鞭　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

霸王鞭，即霸王鞭锉。力重能深入，十分锐利，无坚不摧，碎铁厉害，有威慑感，好像西楚霸王项羽所使用的武器钢鞭。这种工具自清代使用，至今已有百余年历史。

该工具由扎有竹把手的泥座子、圆铁杆及锉头组成。锉头上接圆铁杆，并有大花齿作顺扭逆扭，其竹把手备有龙筋保险索。

使用时，将把手扎于转槽子上，龙筋保险索扎在转槽子顶端1.3米处之篾或钢



丝上。

功能和用途：主要用于粉碎落井的铁块和大块岩石，还可穿破或捣烂落井的竹筒、篾索。这种工具多用于淘井维修。

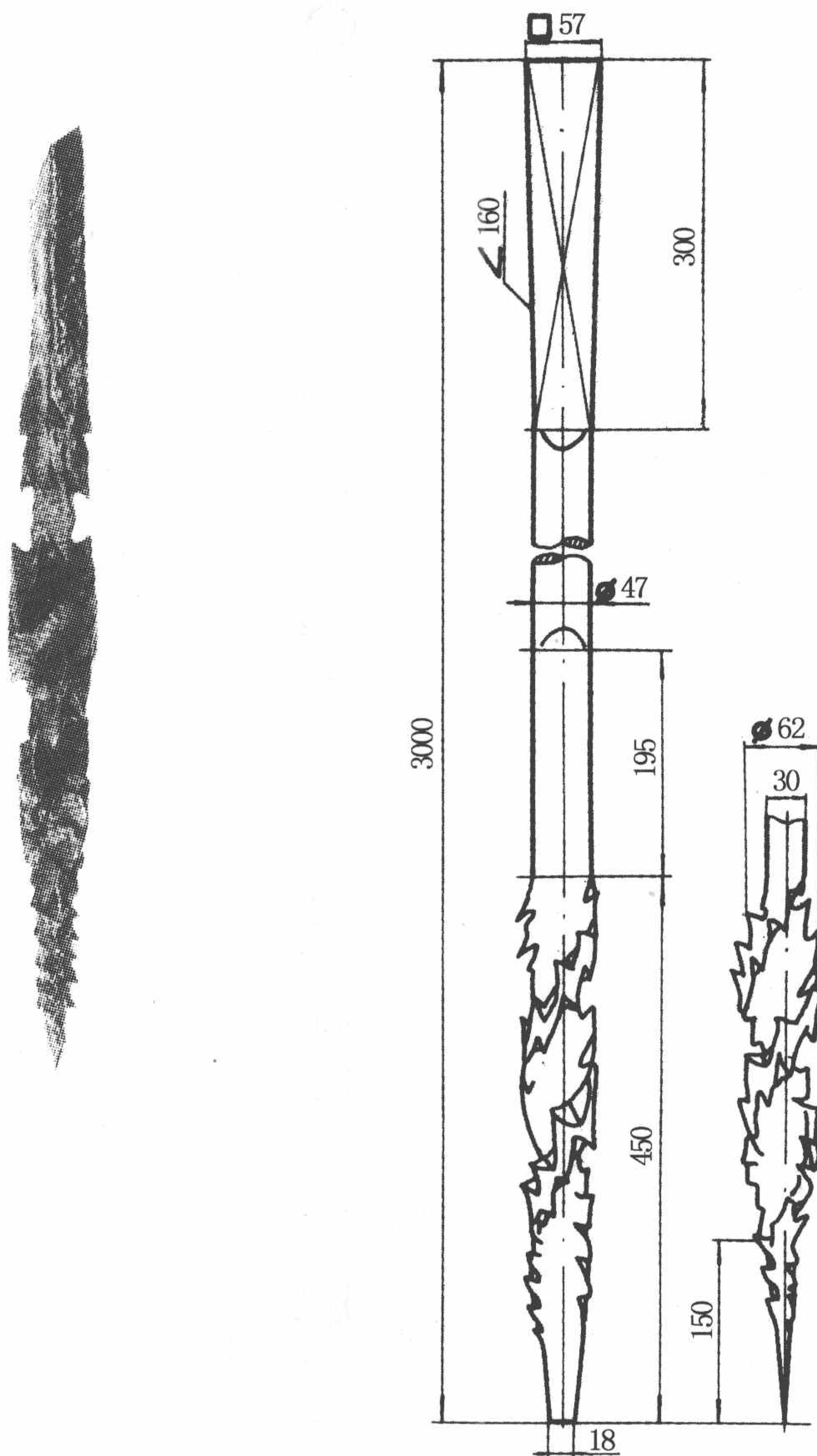



图6－27　二水镊子　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

二水镊子，外形与霸王鞭略有区别，而与滚龙镊子相同。

该工具由扎有竹把手的泥座子、圆铁杆及锉头组成。锉头扁长，上接圆杆，下部逐渐收小成尖形，中部扭曲成二扭或三扭，在楞边上凿有密而细的向上羊角齿。

使用方法与霸王鞭相同。

功能和用途：捣碎井壁垮岩和落在井腔内的遗物，亦可叉松落井的竹篾和铁

器上的泥沙，再配以其他工具清理井腔，捞取落物。

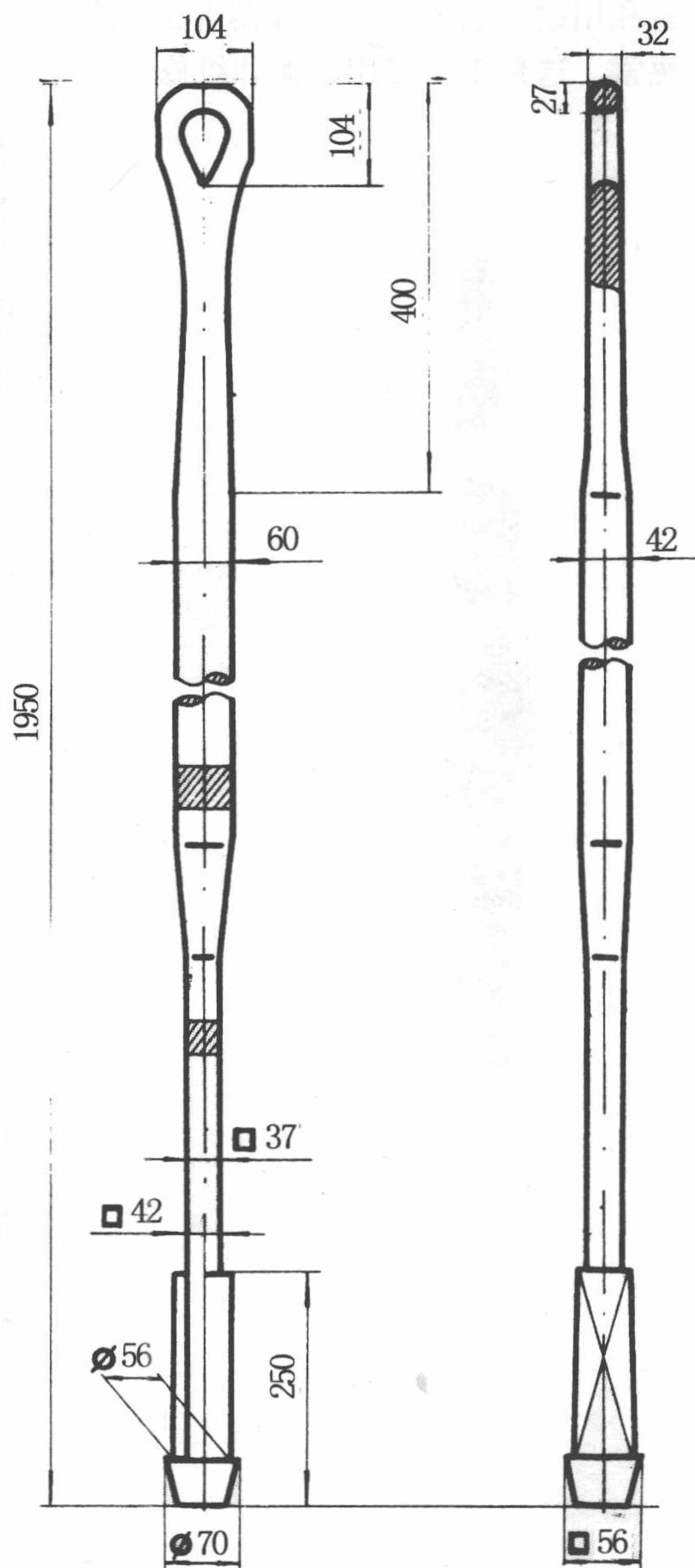



**图 6－28　转槽子　清代①**

转槽子有很多种，是入井锉类工具必带之器。此件为针鼻子转槽子。转槽子能连接钻具进行垂直冲击做功，达到击碎岩石、完成凿井进展任务，是钻井的基本工具。从某种意义上说，没有转槽子，就不可能钻锉深井。

其结构为一根扁长或方形的铁杆，杆的上端有两种形状，一为俗称老鸦嘴的蹬座，索篾牢固地扎在蹬上；一为针鼻形的孔眼穿扎钢绳。杆的下端有一个上宽下窄的方形球体或圆形球体（截圆台体），上接四方楞形鸡脚杆，再上为扁形长方

① 川北地区称“带槽子”，川南地区叫“转槽子”，又名针鼻子转槽子，盐业历史博物馆藏品。



形针条，上套有外圆内方或外方内圆能上能下并转动的蛋壳。另外附铁箍子一个。全部为熟铁打成。

使用时，将铿杆的把手扎在蛋壳上，用铁箍子将把手箍紧，再用麻绳缠紧，用竹楔子楔紧。但必须注意：扎把手时将竹篾与鸡脚杆四楞对准。

功能与用途：主要连接钻具。

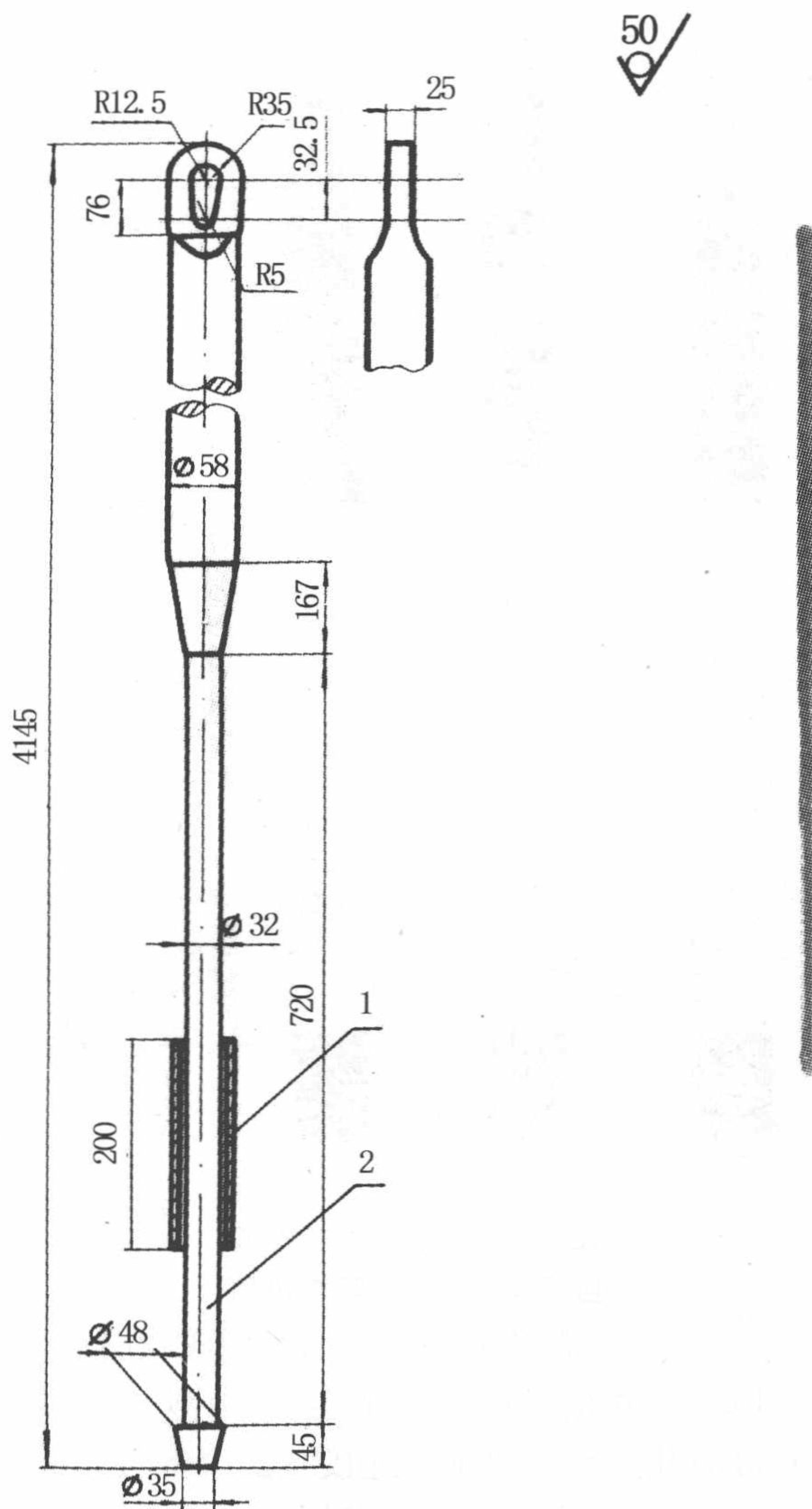



图 6－29　挺子　清代

（自贡盐业历史博物馆藏品）

挺子是入井打捞工具的必带之器，也是钻治井的连接工具。它能连接各种不同打捞工具进行打捞、扫、催、抓、勾、割等不同作业。

挺子为一根长圆铁条，下端为圆锥形（俗称球球），上端为上大下小的扁椭圆形针鼻子小孔，其上接圆形鸡脚杆（较瘦削的铁杆），鸡脚杆另套内呈圆形的铁壳（俗称蛋壳），附有铁箍子一个。挺子的外形与转槽子大略相同，但转槽子较轻，轻则浮；挺子较重，即可加重打捞工具的重量，乃能陷入。其次，它的铁壳内径

呈圆形，所连接的打捞工具不能随挺子转动而转动，此为两者的差异。

使用时，将下井工具的把手扎在挺子下端蛋壳上，再将篾索或钢绳穿进杆上端的针鼻子，然后进行一系列不同作业。

功能与用途：主要连接各种打捞工具，通过撞击泥座子，传递井内信息，探测井中情况，以便正确地在井腔内捞取各种落物。

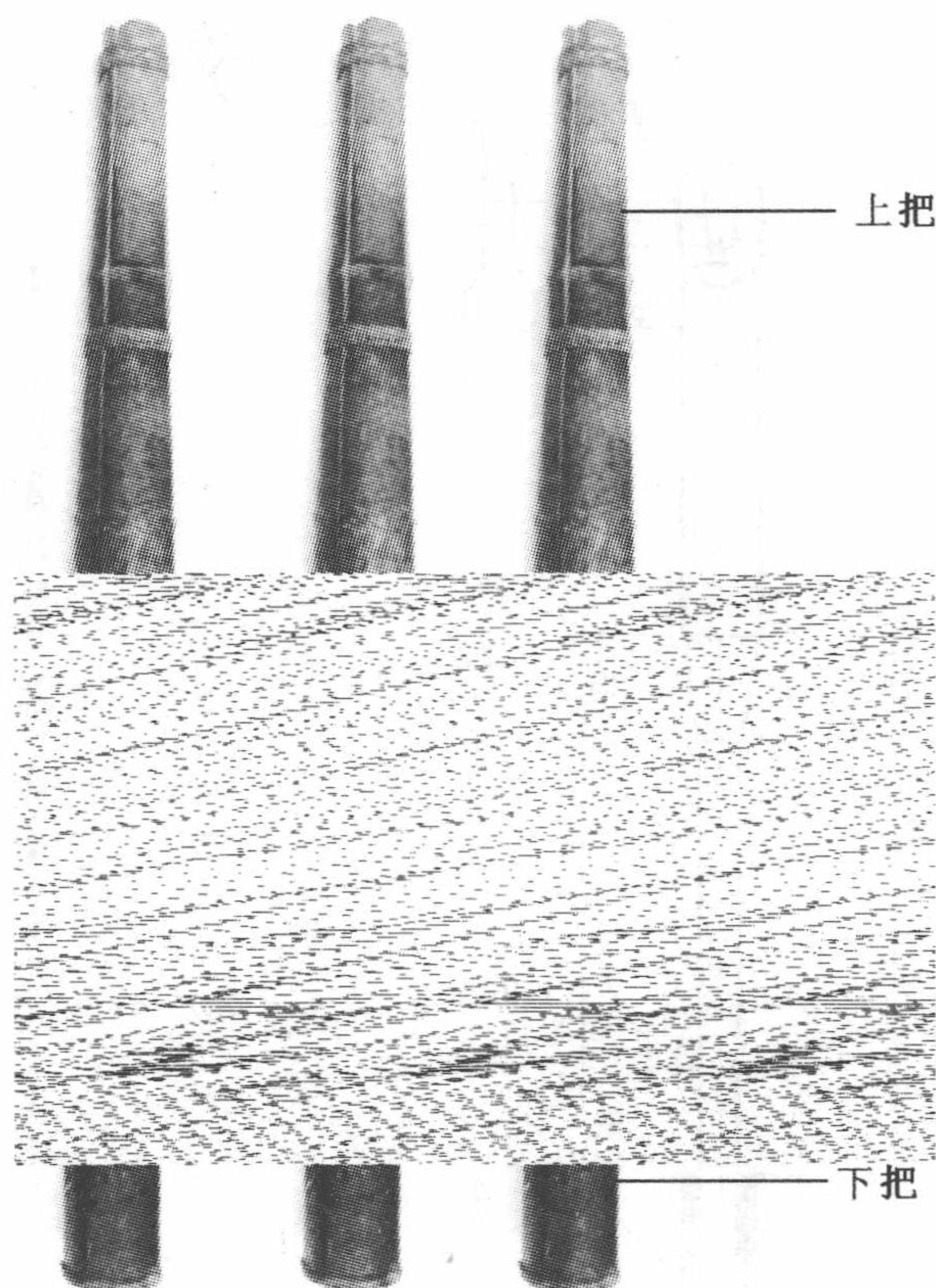



图6-30　竹把手　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

竹把手：属于连接工具类。制作时，用竹筒对剖成四块，精细加工而成。

整个把手分为上把（与转槽子或挺子相连）、中泡（类似现代顿钻活环即冲程）及下把（与钻具或修井工具的泥座子连接）三个部分。此具为钻修井工程中一种通用及常用工具，盐场由清代至今尚在使用。

优点：就地取材，成本低廉，制作简易，使用方便。



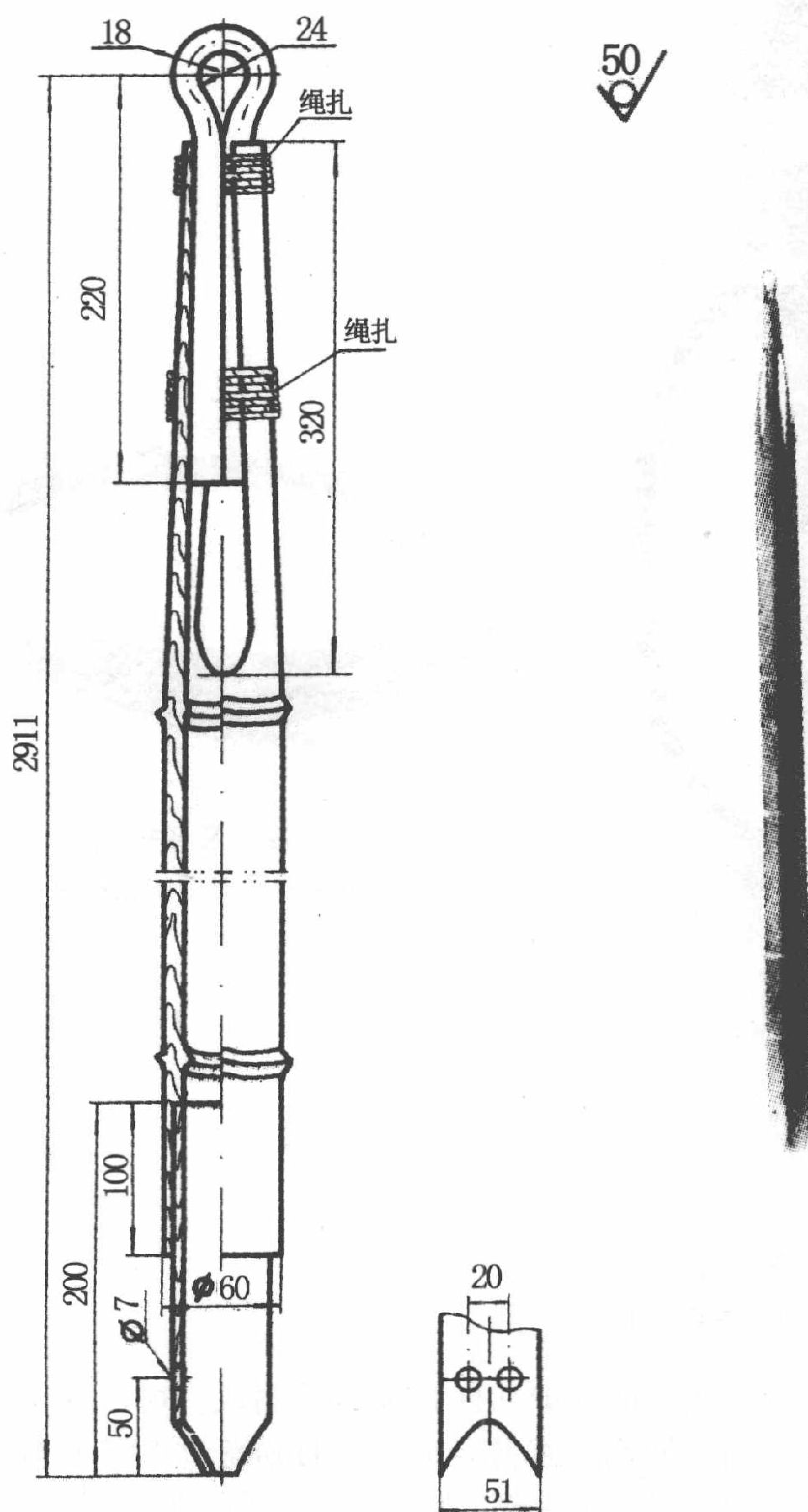



**图 6－31　推水筒（又名汲卤筒）　清代**
**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

汲卤筒由楠竹制成，在钻井完成后，用此工具推汲井内盐卤。在宋代，大文豪苏轼的《东坡志林》以及陆游的诗句中，都有十分精辟的描述。《东坡志林》书称："以竹之差小者（小于井）出入井中为桶，无底而窍其上，悬熟皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之。"足见汲卤筒问世很早，沿用至今仍有它的生命力。其外观除无洞孔外，与引筒、搧泥筒相似。自清代以来，筒底已配带有筒脚子，目的是加固，延长使用寿命。

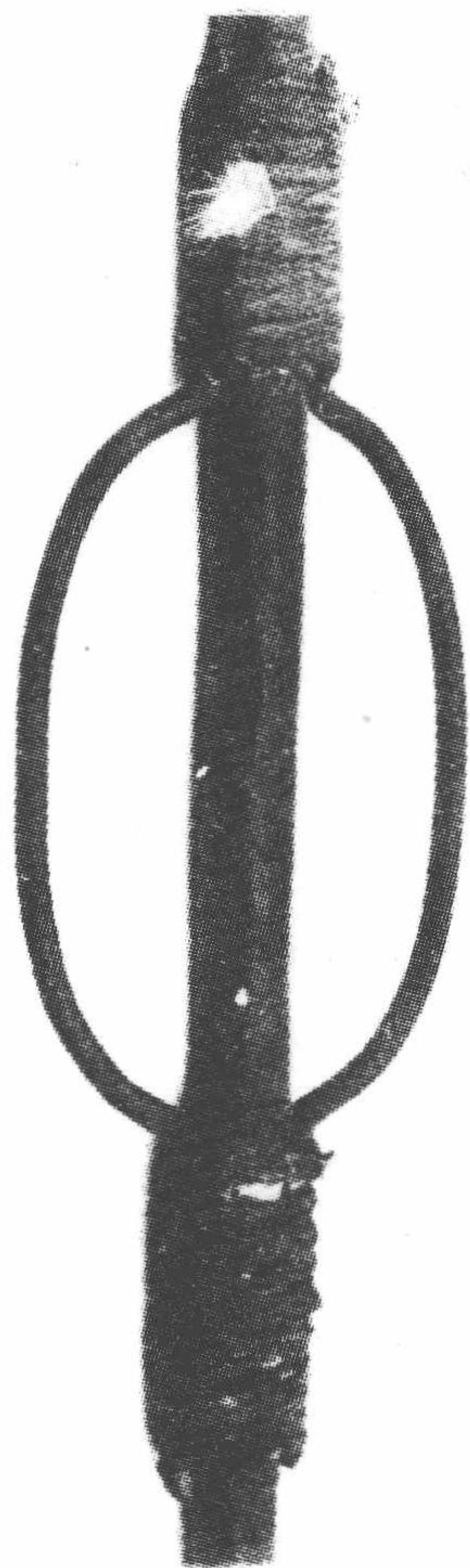


图6－32　窝弓　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

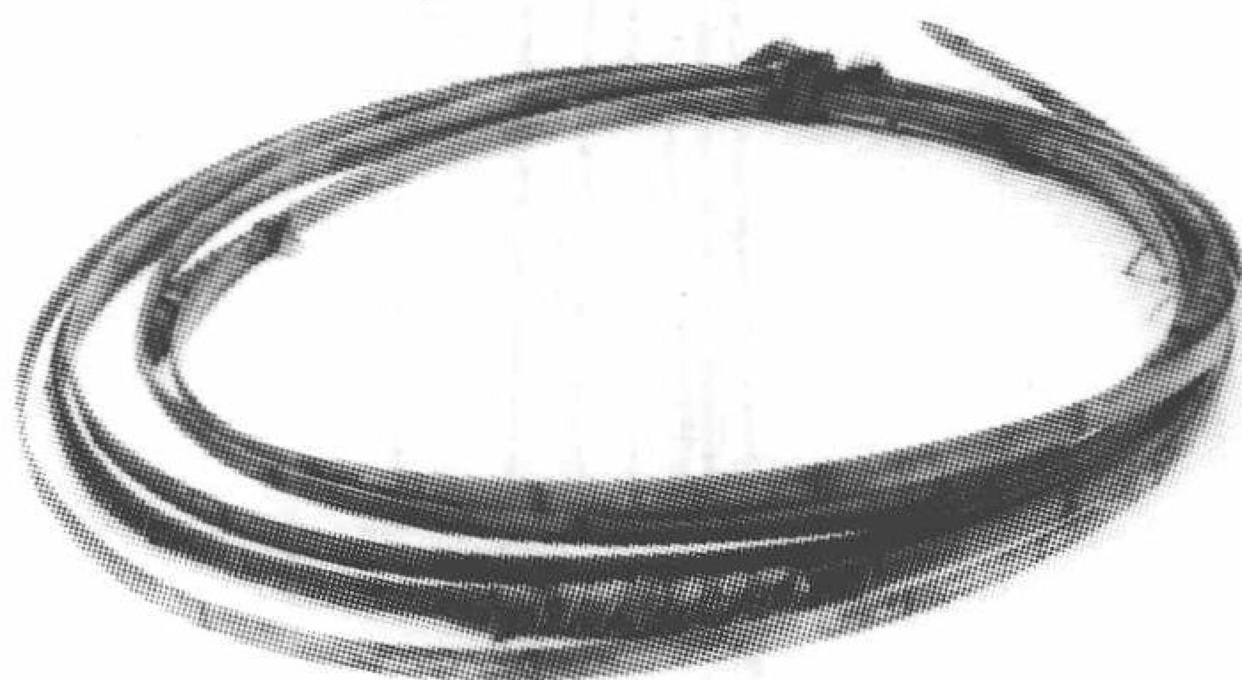


图6－33　竹篾（又名井篾）　清代
（自贡盐业历史博物馆藏品）

窝弓又名窝弓篾。由两匹（或四匹）楠竹片制成，每匹之间稍稍分开，并成弓形，其张开程度（弹发距离）视井径大小和打捞落物的需要而定。使用时，将窝弓篾扎在钻具和打捞工具的上中部。窝弓有竹质和铁制两种，此件为铁质窝弓。其功能：一是可扶正和稳定下井工具；二是因窝弓篾具有弹性，可迫使工具在捞、钩、割等方面，更有效地发挥作用。

竹篾是古代悬吊下井工具的牵引绳索，其功能类同现代钢绳。由楠竹制成一定规格的竹片，接逗而成。



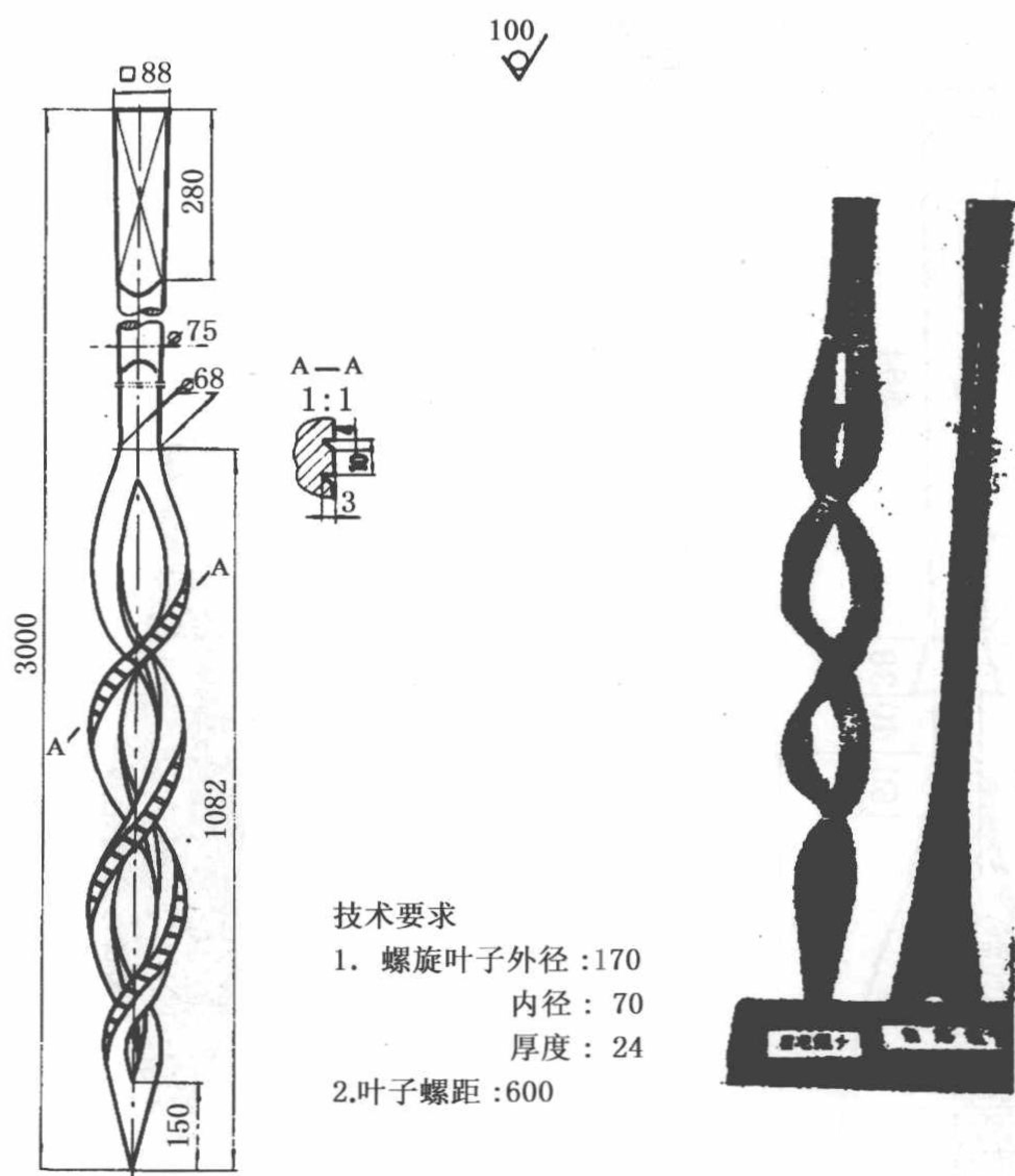



图6－34　空心滚龙镊子　清代①

（自贡盐业历史博物馆藏品）

空心滚龙镊子，是在二水镊子和滚龙镊子的基础上发展起来的，用于修治井。

该工具的结构与二水镊子相同，只是两根铁条顺扭的扭数多于二水镊子，扭织的空间较大，扭边楞子上没有牛角齿，但在铁扭表面凿有排列有序的上楞齿。

使用时，将工具上端螺扣眼扎在活环上进行操作。

功能与用途：在大井中使用，可以碎铁，并用楞齿凿刮井壁和锉伤断落井的铁器，补腔后亦可用以规圆井壁。

① 此件文物，查史籍无记载。1986 年 7 月，盐史文物专家鉴定会议，定为清末制作。

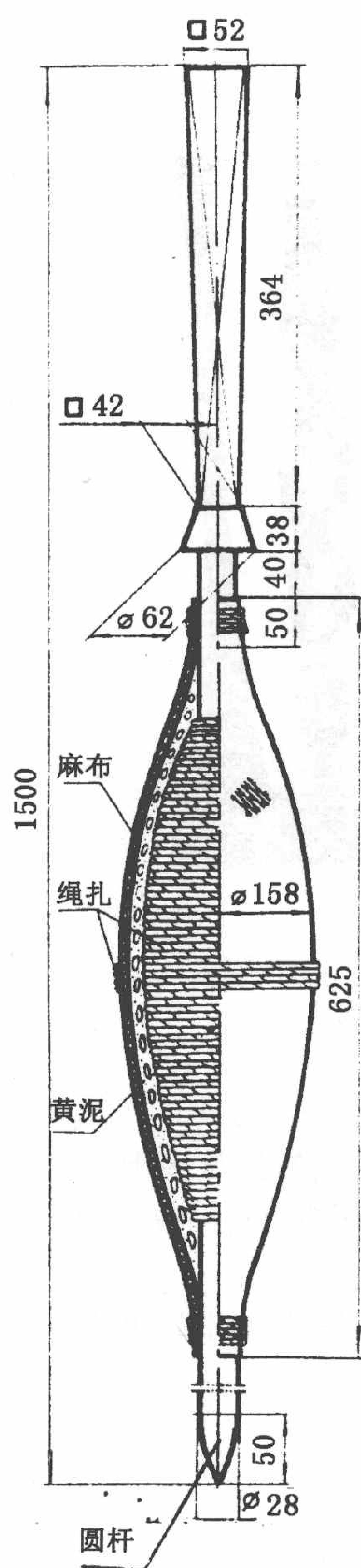



**图6-35 泥孩儿 清代**

**（自贡盐业历史博物馆藏品）**

泥孩儿又叫泥娃娃，由木孩儿发展而来，类同现在的打印器。

主要功能和用途，一是叼换木柱时，检查木柱的座位是否平整；二是打捞落物时，可探测落物在井内的情况；三是测考大口内水的方向和位置及走岩、崩腔等。此件全长 1 500 毫米，其结构是：以木棒（也可用提须杆）为正心，外缠麻绳，麻绳外涂黄泥，并用麻布将黄泥包紧，上有泥座子和棋子。



使用方法：将把手扎稳在挺子上，当泥孩儿下放至大口的木柱座位时，而后打印，随后提出井口，检查泥孩儿身上的印痕，即可探知座位是否平整。古代将泥孩儿放准在走岩崩腔或白水位置，即可测得其深度和水流量的情况。

## 第四节　钻井工艺技术的完备

我国古代深井钻井工艺，于宋代发明，明代获得重大改进，清代已臻完善，形成了一套完整的钻井工艺技术。按建井原则，可分为地面工程和井下钻井工程两部分。

### 一、钻井工艺技术

**——钻井分九道严密工序**

清代，随着四川井盐业高度的发展和繁荣，钻井技术在明代的基础上，又获得了新的提高和完善，已形成了一套完整的我国古代钻井工艺技术，据（清）《四川盐法志》卷二等史载，其钻井工艺流程，主要包括九大工序，即布井位、签井→开井口、下石圈→凿大口→下木柱→凿小口、见功→腾位置→搧泥→补腔→取难。按钻井工艺的先后顺序，分述于下。

#### （一）布井位及签井

选布井位，是钻井成败的关键，所以，先民们十分重视对井位的选定。

我国井盐生产，远肇公元前3世纪，迄至19世纪以前，历时2 200余年间，我们的祖先在长期开采地下卤气矿产资源中，已积累了极其丰富的实践经验。到了清代，对这种经验加以系统的和科学的总结，终于形成了“看榜样”“查地脉”等布井方法和原则。

“看榜样”布井位：“开井宜择山四旁有者居中度焉，曰‘看榜样’。”[87]这段话的意思是说，新井的位置，应适宜选在已有生产能力几个井的中间，俗称“看榜样”。所谓“看榜样”，就是从“已知到未知”的科学推断，这同现代地质科学理论的推断，基本内容是一致的。

“查地脉”布井位：所谓“查地脉”，即古人去现场或实地勘察和研究地质构造的有利部位，即卤气资源的富集地区，布置气井或卤井。如在四川自流井构造上，高明的地质家和工程家（俗称：管事或山匠），多把天然气井位选在构造顶部或轴部地带，因而，获得高产的气流。

根据地表卤苗或气苗的标志选定井位。地下的卤水或天然气沿着地层裂隙溢出地面，形成盐霜或嗅到气味；“夙匠就地撷草拾土嗅之，即知地下有水火。”[87]地表卤苗或气苗的出现，预示地下有丰富的卤气资源，于是，这就为布井位提供了线索。

布井位以地下地质条件为主，但同时要尽可能与地面工程结合，注意三基，即井基、房基、灶基及其附属设施。

当井位确定后，在钻井的位置定下木桩为标记，俗名“签井”。

#### （二）开井口、下石圈——今称“下导管”

新钻井位选定后，工人除去地表浮土，挖成圆井，打大口。大口“坎经地三

尺，围九尺”[87]，不计深浅，“浅或丈许，深或数丈”，最深者可达“十余丈”[87]。总之，一直挖到坚硬的岩石为止，俗曰：“开井口”（见图6－36）。



图6－36　开井口

采自：（清）丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

大口打成，在底部正中凿一个外方内圆的印盆。盒深0.6～0.8米，直径以木柱大小而定。印盒打好，再次吊正中心线，使印盒中心点与井位中心点相重合，以作为下石圈和钻井的依据。

下石圈。石圈为正方形，中开圆孔（直径0.3米左右），每个厚度0.3～0.6米不等，以数石至数十石从大口底累叠而上（两石交接处用泥灰涂缝），砌至地面相平，谓之“下石圈”。但石圈每个注意孔眼上下垂直，吊正中心线。如下石圈在30个以上，当下入一半石圈时，必须加一副铁制“抬杠”垫在石圈上，铁杠两端嵌入大口石壁内，承受上部重压，防止石圈破裂。在石圈外罗，并用泥土、碎石充填夯紧，称之“保箱”。下石圈，实际上是用硬石叠成的石套管——今称“导管”，其功用是隔绝地表淡水和保护大口井壁（见图6－37）。



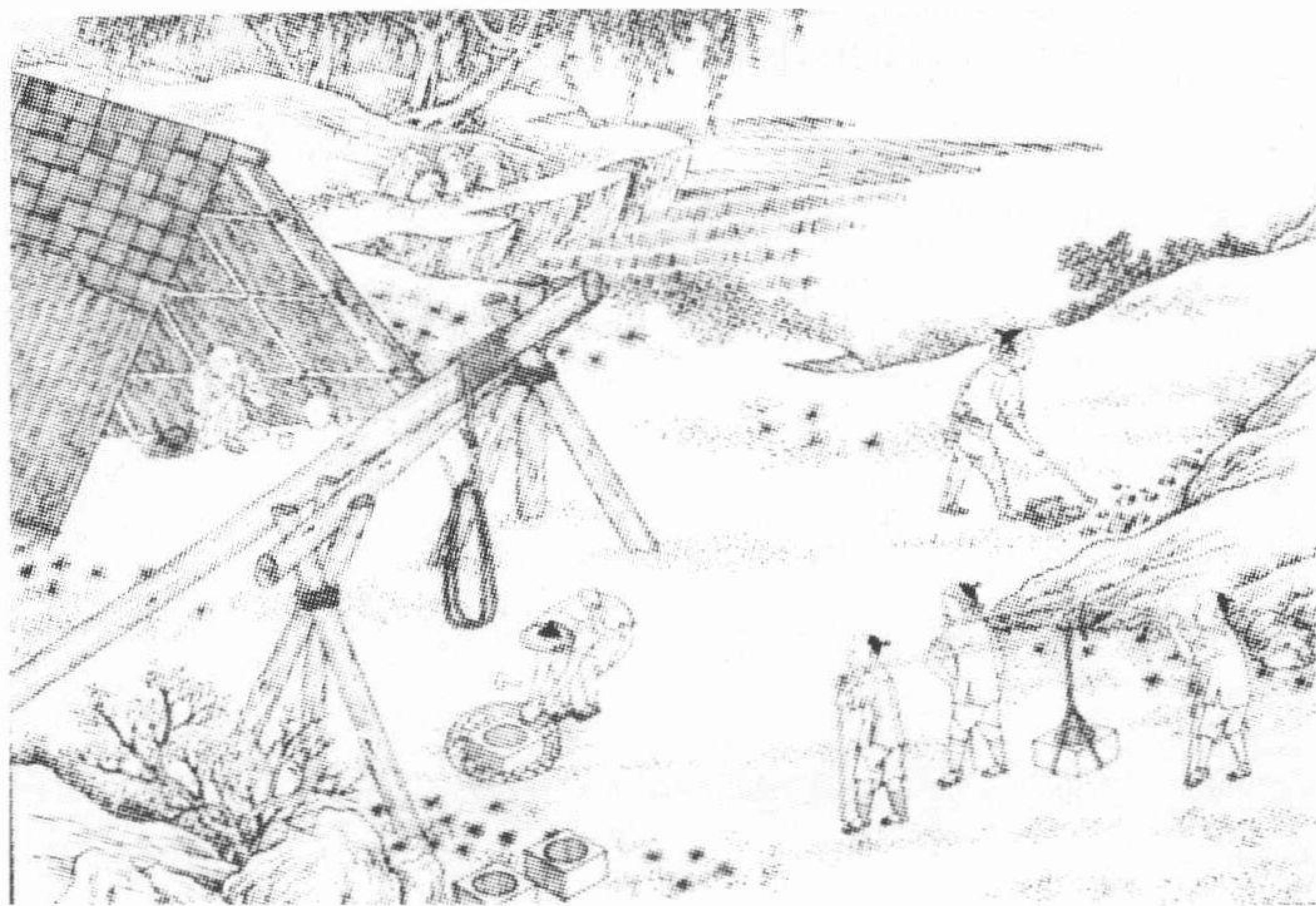


图6－37　下石圈

采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

倘若钻凿为天然气井，要预留出寏盆位置，不下石圈。但为预防（这段）地表松土的垮塌，以木料做成圆筒形，置于石圈上挡固。

（三）凿大口——今名“开钻”

石圈下好后，便在井场安置大车、井架、碓架等钻井设施。然后悬吊钻具，用人力捣碓钻大口，从上至下，钻过淡水层，直到硬岩，盐场钻井工人通常把井段钻凿的深度谓之“凿大口”，俗名“锉大口”（见图6－38）。清代凿大口，分两步进行：第一步，抽小眼；第二步，刮大口。

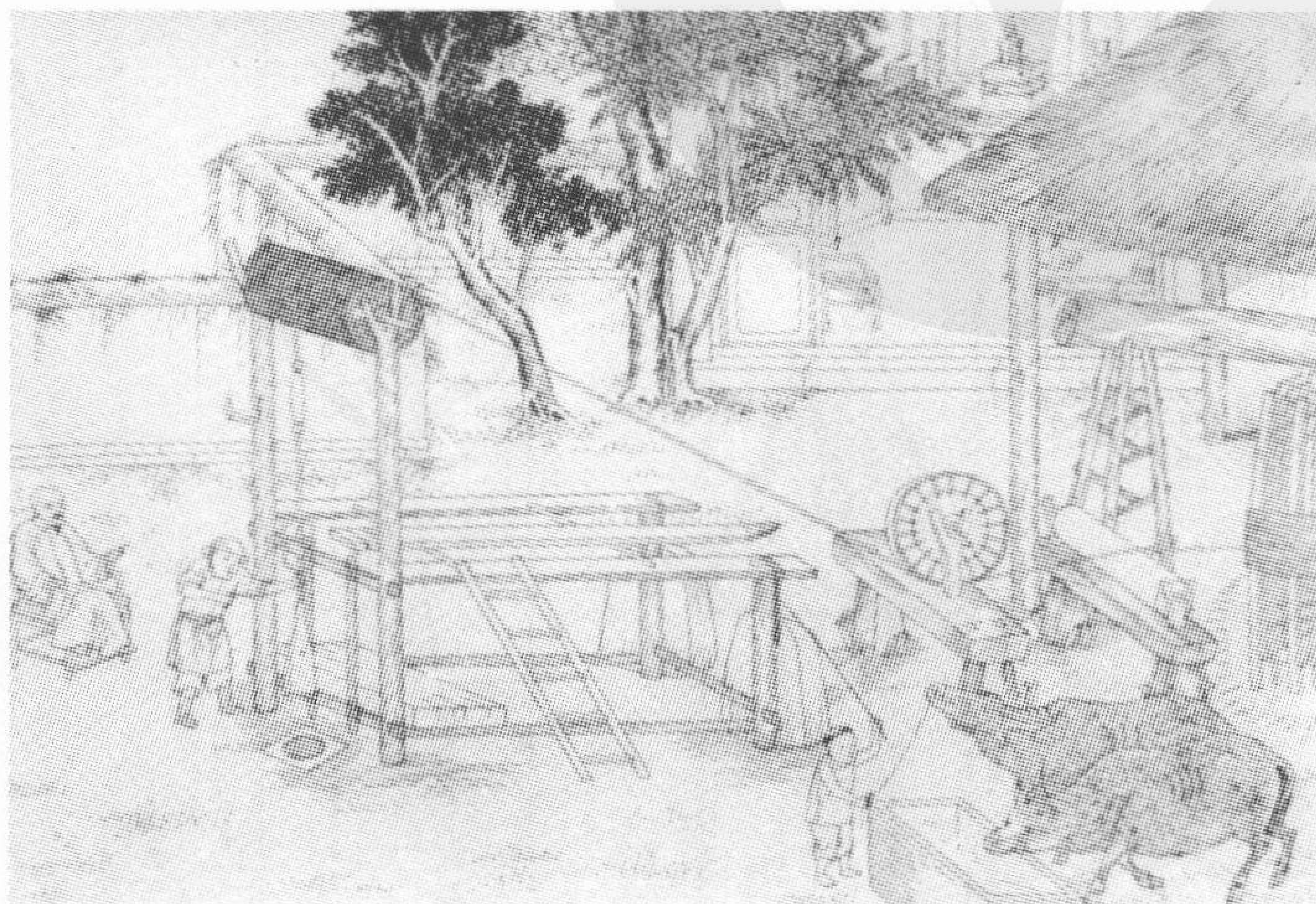


图6－38　凿大口

采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

第一，抽小眼。为了探明淡（白）水层的位置和流量的大小，同时要找准硬岩的深度，以便下木柱套管封隔止水，于是，我们聪明的祖先创造了预先钻探的

方法——“抽小眼”（见图6－39）。抽小眼是从印盒开始，即先用钻具在石圈内不偏不倚地对正印盒的中心点抽出小眼（小眼直径即本井的口径），然后间隔交替选用银锭锉、双马蹄锉或垫根子锉继续钻探，直至小眼钻完。但钻探小眼时，钻杆上扎大“窝弓篾”（即扶正器），随着小眼的加深（约2～3米），取下大“窝弓篾”，换上“梭边”钻凿，以保障井身伸直，井筒圆滑。抽小眼的目的是要勘察淡水层和确定下木柱的岩层。因此，每一钻都要搧泥，泥水倒入“考水盆”内，观测井内水缝情况，或用“考水筒”“泥孩儿”等测试工具，放入井内考测，以确定白水的来源深度和流量大小。当钻完白水地层和超过硬岩2米时，即可终止抽小眼。小眼深度（亦即大口深度），因地而异。如自贡钻深八九尺至30余丈，最深者达70丈。

第二，刮大口。小眼钻完，确定下木柱位置，便可开始刮大口。所谓“刮大口”，即是用大锉（俗名“鱼尾锉”，后改称“蒲扇锉”）将先抽的小眼刮扩大，其直径与石圈内径相同[88]（见图6－39）。刮井的方法，从上往下进行，钻杆上必须捆扎梭边（即扶正器）及正心，一同插入小眼内，以免大口偏斜，确保大口井壁圆滑垂直。在刮大口过程中，根据不同井段和岩层，选用不同的钻头。同时，每天要“吊墨”（校正井眼的中心线）一次，及用“照桶”（即测井器）放入大口内检测井筒是否圆直，如发现井斜，则及时采取措施纠正，然后继续刮井，一直刮至硬岩为止。接着的工序是团位子。所谓“团位子”，即是木柱入井底的基脚，要求平整无缺。一般用泥孩儿（探测器）放到“位子”上去打印，根据印迹的显示，以确定位子是否平顺完整，是否适中，合乎要求后，“团位子”才告完毕。

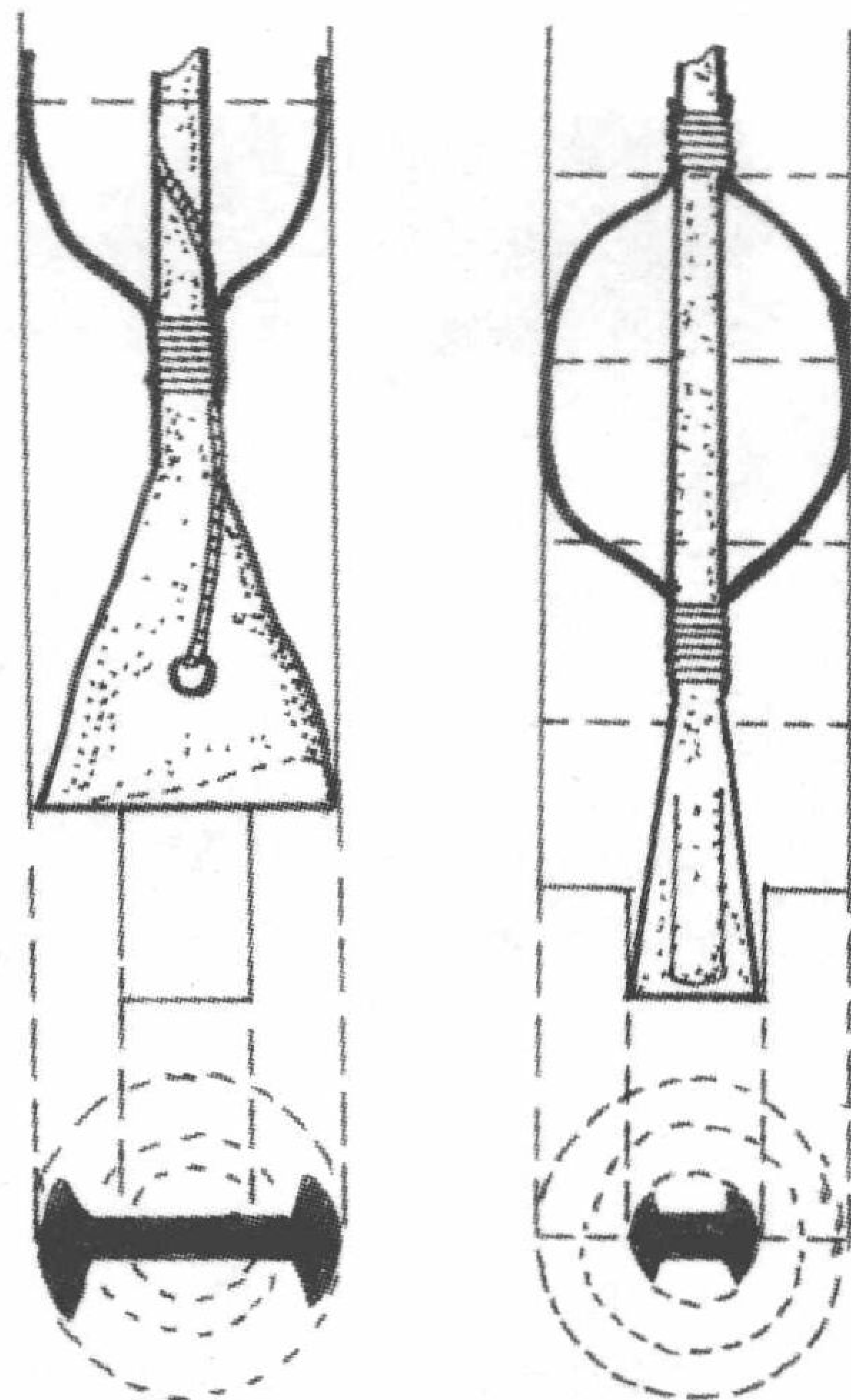


**图6－39　刮大口、抽小眼**

**采自：谭旦冏著　《中华民间工艺图说》**



(四) 下木柱——今名：固井下表层套管

木柱，即以木质制作的表层套管。下木柱（即木套管）是为了封隔浅层淡水和保护井壁，其性质与现代石油井固井类同。

宋代卓筒井用的竹筒套管，称之“木竹”。到了明代，开始出现木质套管，盐场工人谓之“木柱”，清代普遍推广应用。关于下木柱的工序，分为制作木柱、下木柱、养木柱。

1. 制作木柱

木柱即木制套管，是用长2米左右的硬圆木如青杠、柏木等，从中对剖，挖空如竹，两块（片）相合，壁厚8～10厘米，内径视井径大小而定。但两块合拢时，上下错开，两端各留长9厘米左右，以备合榫各节之间相连接。一木柱用三节（即六块）组成，全长约6米。其外用薄篾箍紧，刮上油灰（系桐油与石灰搅拌混合而成）及缠麻各两次（叫双灰双麻）或三次（三灰三麻）。最外面一层包缠粗麻布，并用挂子赶光滑顺平即成。然后搁置阴凉处，干后备用（见图6－40）。

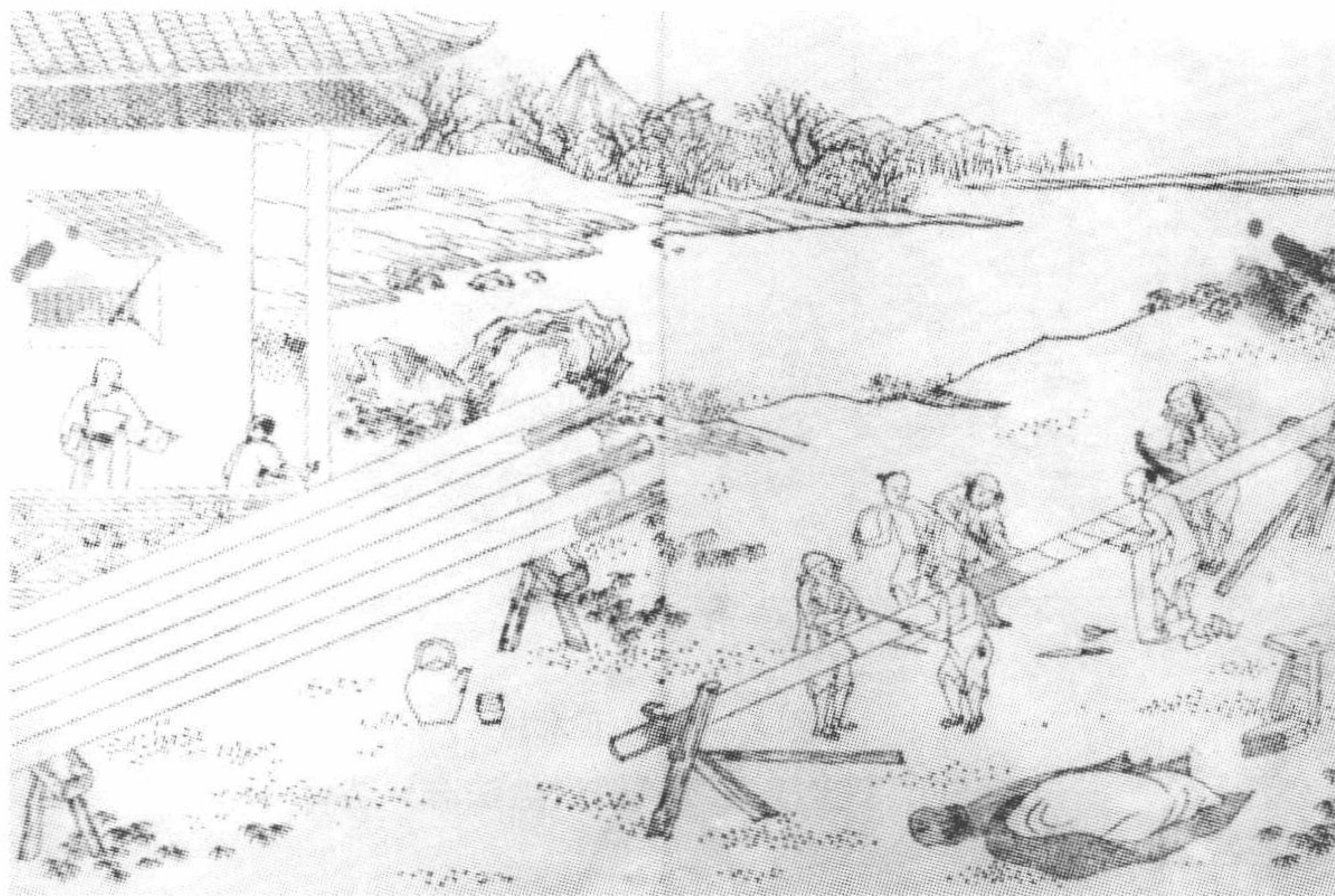


图6－40 制作木柱

采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

2. 下木柱

先在井口安置支撑、提升、剪刀架等设备，然后开始下木柱。木柱的下端为麻头，必须在下井前预制好。所谓“麻头”，系木柱底端的“套管鞋”，以油灰、散麻、白布等制作而成。其功用是将木柱与岩层粘结凝固在一起，从而达到止水的目的。扎“麻头”是一项十分细致的工作，而且技术要求高，制作工艺精细。

“先用散麻一束，分散包围在木柱底端侧面（即圆周），用绳扎紧，下端打结塞于木柱小眼内，再在麻上用白布包一层，扎好打好筋后亦塞入木柱小眼内。此时用麻绳在木柱底端上沿小眼口缠莲花（形）绳子，每绕一次挂于筋上，至沿小眼全部缠完为止。将油灰做成圆圈，盖于莲花绳子上，把小眼内白布取出反包住油灰，并用绳子扎于木柱外罗上，将麻从小眼内取出亦分散包围油灰扎在白布上，

再将麻上上麻灰两次，箍紧即成。”[76]

“麻头”做好后，一会一会的用“窝索”吊起，两会交接处扣榫，并刮灰、缠麻、包布等完毕，陆续缓缓地放入大口。于离位子约1米，则用“位镰”扫尽位子上残留的泥沙，再将“正心”（即“扶正工具”）下端插入小眼内，上端伸入木柱内，并上下活动数次，这时，放松“剪刀架”，砍断吊绳，木柱“啪”的一声落在位子上，名曰“落位”。井大把木柱上端扣紧，正位于大口中心（见图6－41）。随即考测木柱外罗（木柱外径与大口壁之间的环形空间）的水位，如外罗水位高，而内罗水位低，则证明木柱底端麻头完好，已把浅层淡水与井眼分隔开了。此时，并用大锉倒顺过来，把锉杆插入木柱内压住，以防摆动，称之“压盘”。

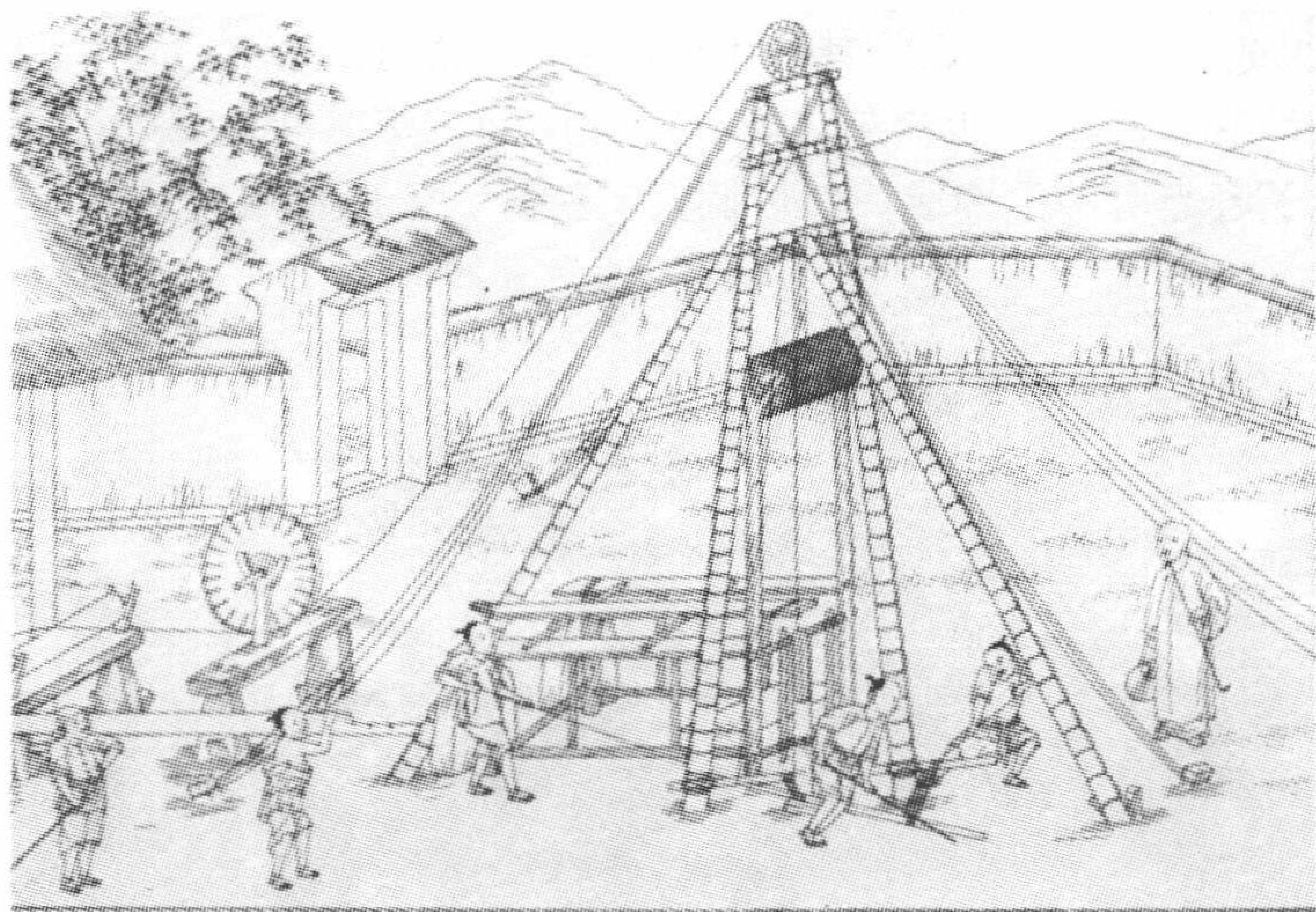


**图6－41　下木柱**

**采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二**

3．养木柱——候凝

木柱下完，还要“养木柱”——候凝，即等待“麻头”（套管鞋）固井止水油灰凝固。候凝时，需要继续完成两件工作：一是每天由碓工吊过江或人在碓上活动正心（每隔两小时活动一次），名为“活正心”。以保持麻头与位子垂直，不错位，同时避免正心粘固在麻头上。二是从外罗（环形空间）灌泥浆，取名“养身泥”。灌泥高度约10米左右。其目的是可防止木柱移动，加固其稳定性，同时更能堵隔淡水渗漏。候凝约8～14天，麻头油灰已凝固，方可将正心提出井口。随之，淘井、推水，再考察木柱内是否隔尽淡水，如无淡水，便达到了止水的目的。就可安装井口装置（包括窹盆、碓臼底、井帽子、三者中心点为一垂线），接着开始钻小眼。

（五）凿小口，见功，今称钻小眼，直达目的层

凿小口，又名锉小口，今名钻小眼。凿小口是为了获得地下卤气资源，因此，是钻井中一道十分重要的工序。但它钻井最深，时间最长，耗资也最多。其钻凿方法与抽小眼一样，只不过是钻井越钻越深，遇到的岩层变化更复杂，井下工程



也就更加艰巨。

凿小口，一般以银锭锉为主，并根据井下岩层和裂缝的变化，选用双马蹄锉或垫根子锉。钻井时，为了防止井斜，钻杆上扎好扶正器，同时经常注意天辊子、花辊子中心点，对正井口的中心点，碓板（即杠杆）的重臂中心，对正井眼的中心点。这些中心点是否上下对正，必须“吊墨”进行校正。捣碓时，窖准确，找好井底，掌握住“蛋门”的开闭，也是防止井斜的关键。每锉在井底捣钻两小时左右提出井口，然后，换扎泥筒，加上压手，放至井底捞取泥沙，测井。接着又继续下钻钻井。如此，反复下锉、搧泥、测井，盐场工人谓之“凿井”（见图6－42）。关于凿井的步探和方法，归纳如下。

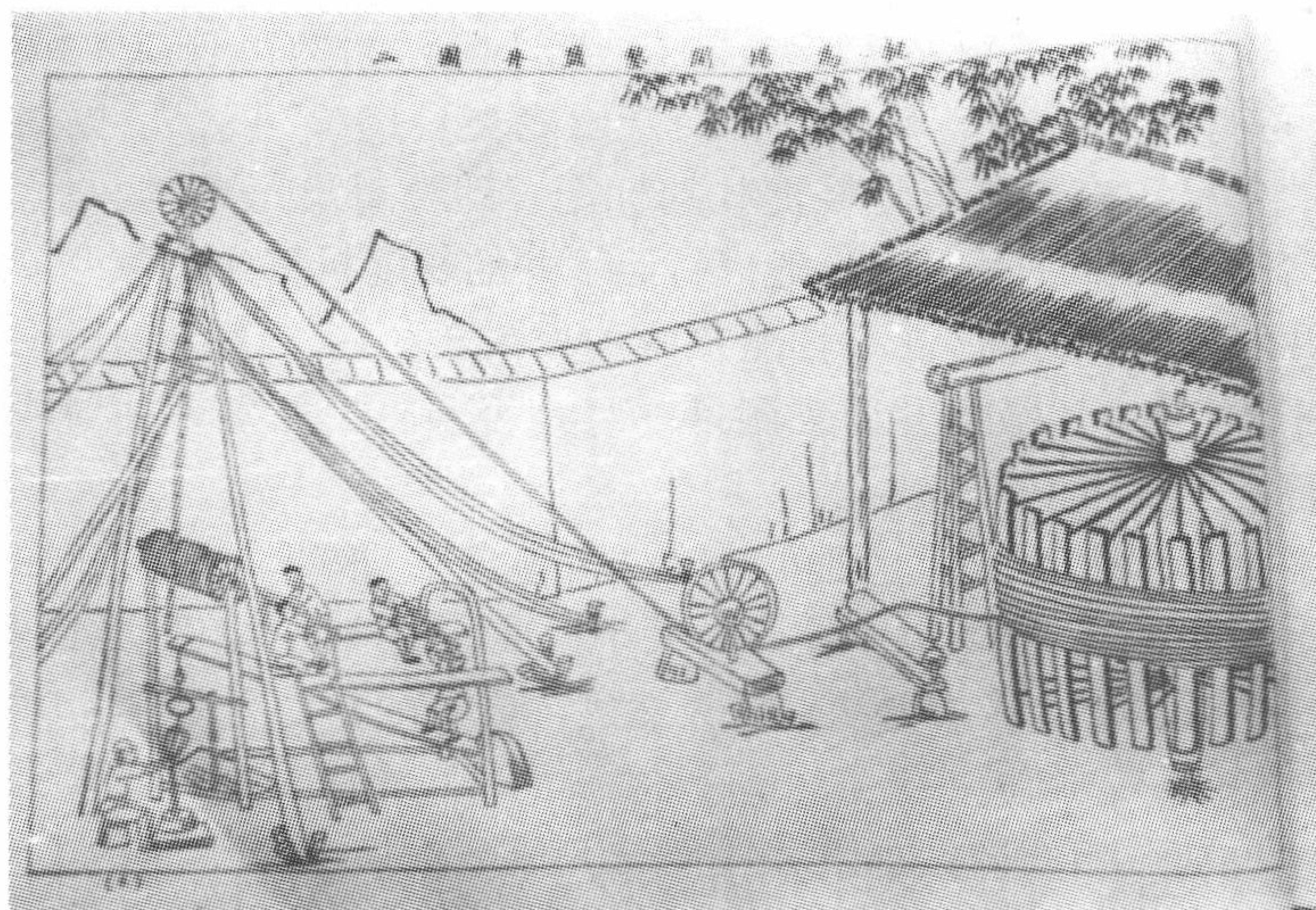


**图6－42　凿小口和见功**

**采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二**

第一，“吊墨”。确定井眼的中心线或中心点（即井口中点纵横坐标），凿井时，以防止井斜。

第二，钻具的串连。主要由连环→揹木→井篾→转槽子（包括搧泥用的压手或挺子）→竹把手→银锭锉或双马蹄锉或垫根子锉→梭边或窝弓（即扶正器）等工具串连和组合。

第三，钻具检查。按规定，钻具下井前，必须从头至尾进行安全检查，其重点检查是全槽井篾。如鸭舌子、皮子、分江篾（顺篾纤维破开）、正绑篾等捆扎是否符合要求，钻头是否符合规格，钻杆及转槽子有无裂纹，上下把手及梭边有无磨损、松脱等现象。通过钻前检查，可把许多事故隐患消除在萌芽状态，若是发现了较大的问题，也便于及时采取措施处理。

第四，找准井底。凿井找好井底是最重要的一环。即将碓板放入矮乘子固定槽内，放下连环、吊挽，扎在揹木上，将碓尾压起，打开座挽，窖准碓，找好井底。窖碓找底全凭丰富的实践经验，只能意会，不可言传。

第五，捣碓凿井。井底确定后，即可进行捣碓凿井和转锉。一般每钻在井底捣凿两小时左右（系专门做的碓香计时，每柱可燃两小时），然后起钻推出井口，并详细观察钻头上磨损痕迹，如钻头四角扫磨或发亮，即出现了岩石裂缝；钻头撮口皮或抽尖，即出现井斜号等等，并根据钻头印迹，以采取相应的技术措施，确保安全钻进，提高钻速。

第六，搧泥。用“泥筒”放入井底，取尽凿井的泥沙（岩屑），以便为继续钻井创造条件（见（七））。

第七，测井。俗名“扚井”，包括测量井深和井斜。

测量井深。根据凿井需要和要求，随时可测量井深，包括每锉的井深，或每日、月、年的累计井深等。在此仅指每钻的井深，即钻井的进度。钻井速度的快慢，视岩层软硬而定，“每钻按二炷香（约四小时）为例，泡岩（如页岩之类——作者注），可行井2～3寸。硬岩（如石灰岩之类）1～2寸。”[89]根据“搧泥”后，在井口用“井尺”直接测量竹篾上扎的标记，即可得出每钻凿井的深度。如要测量数10米到1 000米的井深，一般以竹篾下井的长度折算成井深。

测量井斜。以“样筒”（一种测井器）长5米左右，口径略比小口井径小——5毫米，圆形笔伸，以放入井内，测量井身是否圆直，如发现井斜或井壁不光滑，便及时处置，予以纠正。

总的来讲，木柱下好后，便可进行“凿小口”，取下大钻头（如鱼尾锉），换上小钻头（如银锭锉等），以木柱内径大小为准，继续向井底地层钻进，直达设计的目的层——获得卤水，或岩盐，或天然气，或石油，谓之凿井成功。

（六）腾位置——钻余位

凿井“见功”后，即钻小眼井段便告完成。再换上更小的钻头（比小口的直径略小），继续往下钻一定的深度（一般约10米），俗称“腾位置”。其目的是使岩沙、泥水、麻渣等杂物沉积于位置内，不致阻塞生产层，也便于淘井。同时“位置”能储集卤水，生产中当井底水位（柱）很低时，汲筒伸入“位置”里，可推满筒。“腾位置”是保护开采层，延长生产井寿命的好办法。

（七）搧泥

在钻井的过程中，井内的岩石被捣成碎粉，用泥筒取出井底的岩石碎屑，以利于钻进，是钻井工作的重要环节。

泥筒，楠竹制作，长约“一丈余”，通节中空。竹筒末端置上皮钱（即活塞），上与挺子连接，放入井底反复上下运动，岩沙和泥水被汲入筒内，因砂石下坠，皮钱（活塞）紧贴筒底，不泄漏，称之“搧泥”。如此数筒，取尽井底泥沙为止。每次凿井，照此搧泥（见图6－43）。



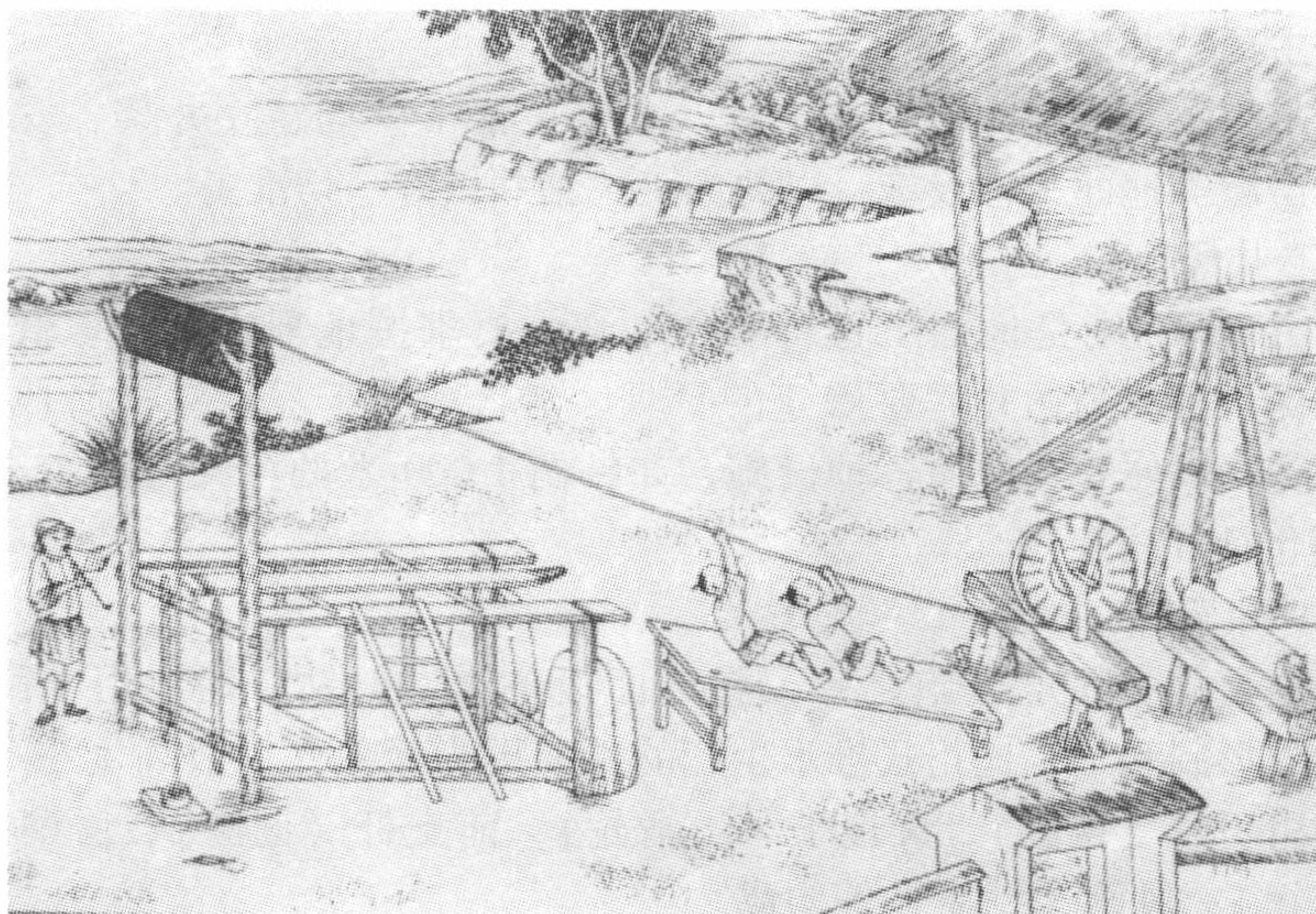


图6－43　搧　泥

采自：丁宝桢主编《四川盐法志》卷二

（八）补腔——补井

钻新井时，常遇到松软的地层（如页岩、绿豆岩等）垮塌，或遇地层渗透的淡水，影响钻井，因此必须进行考腔和补腔。考腔是将垮塌的岩腔（即岩穴）上下高度考察清楚，以便正确进行补腔工作。所谓补腔，是指补垮塌岩腔或水腔等。

用灰补腔是劳动人民的创造。补腔的步骤是：考腔、打草把（井中悬空的草结子）、下灰补腔、旋灰（将灰压紧和挤入岩腔中去）、养腔（即后凝结晶）、开腔、抓草把、清井。灰是用桐油、石灰，或胆水（制盐后的母液）、石灰混拌而成。

（九）取难——打捞井下落物

钻凿井时，因种种原因，不免会发生锉或筒等物落入井内的事故，工匠谓之“落难”。运用恰当的打捞工具和方法将井下落物打捞起来，以恢复正常钻井，称之为“取难”。“取难”一般是很复杂的。要根据井内落物的原因、性质、规格等情况，采用不同的方法和打捞工具。如，落锉，则打捞工具采用铁五爪、偏尖（包括死、活偏尖）、木龙、系子、五股须、独脚棒等，同时要有辅助打捞工具密切配合，才能完成打捞井内落物的艰巨任务（详见本章第五节——巧夺天工的井下“取难”技术）。





## 二、地面工程及其设施
## ——主要钻井设备①

地面工程及其设施，即钻前工程，主要包括平井场、立井架、安碓架、置大车及修建房屋等地面工程设施，以便为正式钻井做好一切准备。

### （一）平“井场”

平“井场”，则是地面工程首要的一环。要求按地形铲高、填低、铺平、夯实、并加保坎等，为钻井需要修建的平坝。清代，属于深井钻凿阶段，因此，井场平定较宽，以便安置地面各种设施，如钻凿1 000米的深井，需占土地1~2亩左右（不包括灶房在内）。

### （二）立“井架”

井架本是盐井固定设施之一，属地面设备类。但钻井时，用于吊锉、搧泥、推水等，故形制和结构比正式推水生产的井架更为简单，一般高度在20~24米左右。全架由正身（两脚）、天辊子（天滑轮）、前支杆（前脚）、后倒挂（后脚）、穿剪（支撑）、风篾（绷绳）等构成。

### （三）安“碓架”——巨型凿井碓架的创制

此种巨型“碓架”，由宋代卓筒井小碓架改进和发展而来。其特点是架体庞大，结构完善，弹发力大，凿深井用。因此，它是凿井专用的动力设施，属盐井地面设备类。

关于巨型碓架的结构和安置，先对正井口，前面树一对巨木，高4~6米，直径约0.4米，两柱相距1.13米左右，分别卓立基石上，俗称“将军柱”。其后再立稍短小的两木，高2.2米，直径0.3米，名曰“后腿”或称“后山”。前后、左右四柱，用乘桥、腰环、锁脚环及横木榫接，以尾索绕“扒架”撬紧。同时另辅有扶手、木板、啄母腿、矮乘子、牌坊架、绑子、响子等部件，组成一个长方形（横断面）的木框架。

在框架上，设置杠杆，俗名“碓板子”，但分小碓板（凿井用）和大碓板（修井用）两种，以黄檀硬木制成。小碓板两端微昂，中间稍凹，首阔尾削，长约5米，直径0.12~0.15米。在碓板上，固定点为支点，俗云“碓腰子”。从悬吊钻具至支点为碓头，又从碓尾到支点称碓尾（稍）。因碓尾即动力臂数倍乃十余倍于碓头即阻力臂，于是，大大省力。这种机械装置盐场皆称“碓架”，又名“踩架”。

功用：碓架是应用杠杆原理，并结合凿井的特点加以改进，取硬木研制而成。主要优点：一是省力，功效高；二是用于凿深井和修治井（见图6-44）。

① 现存清代桑（兴）海井、东源井遗址地面完好设备，提供了实物见证。又，清代《四川盐法志》卷二及《自流井风物名实说》记载。





图6-44　巨型碓架　清代

（自贡盐业历史博物馆文物藏品）

（四）设置“大车”——庞大的绞车

大车，又名“牛车”、“圆盘绞车”，属于盐井地面设备类，以硬木制成。由巨型车盘、粗大轴心、巨大的“过担”及细长的拭篾等部件构成。车轮圆周分16爪即16格，直径3~6米。其优点是结构合理，转动灵活，牵引力强，可调节车速，停转自如。动力大车起着升降作用。因此，用于凿井及修井起下钻具，同时亦用于盐井推水。

凿井除上述主要设施之外，还有“地辊子”（系地滑轮）、“花辊子”等附属设施。

（五）修建“房屋”，包括车房、碓房及洪炉房等

车房：系木架、瓦盖、九柱落地中空硬抬的大房架结构。房高中空要求在8米以上，便可安置大车。车房两侧的偏房，一侧作牛棚；另一侧作工人宿舍或饲料库等。车房与井口碓房连接成一条线形瓦房，称之“过江棚”。

碓房多以木架草盖或竹笆糊灰的房盖，修建时要与井架脱离，以免井架摇动，影响碓房摆动。

洪炉房，即锻工房，又称铁工房。设在井口附近，一般距井口20～30米，便于抬运钻具修理。共设两炉，一炉作铸造钻头和煊铿用；另一炉则打小铁件之用。

此外，还要修建柜房、厨房等。

**三、凿井人员配备**[89]

新凿一眼井，按工种的性质不同，人员配备由钻井工程技术人员、行政管理人员及勤杂人员三部分组成，负责一井从开钻到完钻的全部工程。

（一）工程技术人员

设井口管事一人（相当于今“技师职称”），总揽全井工程技术，包括井车两头、地面建筑、钻井技术及工具制作要求等工作，同时还兼任人事指挥和调动大权。井管事“规划形势，督工匠以凿井”[21]，即技术与行政大权于一身，是全井最有权威的一员，因此名为“工匠的总管”。

山匠（今称司钻）二人，为某一班工人的头目，指挥和监督碓工。他不捣碓，掌握井口下钻及操作技术。负责全井各种工具的开、砍、割、扎、连接等技术工作。职位次于井管事，但高于碓工。

碓工（捣碓凿井工匠，今名钻工），全井设16～20人。但按井深浅而定，井浅则人少，井深则人多。依技术的高低和能力的强弱，分15班和30班两种。15班为老师，即熟练捣碓工，30班为捣碓学工。工作分为两班，每班8～16人。而每次上碓只有4～5人，捣尾子工2～3人，均系熟练工，掌握窖碓、找准井底及挽子软硬（俗称：捣尾子）。学工捣风桷，是跟着走。拭篾匠兼管捣碓①，在碓头捣略帮力，每捣一炷香轮换。

铁工四人。铁匠是专门锻造和修理凿井的工具。设掌钳师（相当于今“技师职称”）一人，专制铿头变换规格，加钢淬火老嫩（即温度），要为沾钢捣反仄子负责。在钻头出井时，发现有撮口皮、扫四角等问题，便及时向井管事联系。他也是凿井中最关键的一员。

二钳手一人。为掌钳师的帮手，能制作一切铁件。学工二人，负责打大锤，扯风箱等工作。上述四人，包干全井洪炉的工作。

（二）行管人员

全井设座办一人（代表东家盐商），统揽全井事务工作；另，管账一人，除本职账务外，每天记好“岩口簿”（即凿井、地质原始记录）；管钱一人，包括一切开支、兼办杂务工作。

（三）勤杂人员

包括饮食员二人，挑白水3～4人。还有临时人员，如辊工、笕工、灶工等。

清代钻凿一眼新井，全井用工40人左右。

## 第五节　高超奇特的修治井技术

清代的修治井技术，乃是在明代修井技术的基础上，又有了巨大的进步和全

① 拭篾，即以一种竹制的“刹车带”，调控“大车”的转速，以适合工具下井的需要。为此，掌握“拭篾”的工匠，俗称“拭篾匠”。但拭篾匠除放“拭篾”工作而外，还要兼管捣碓。



面的发展，已形成了一套完整的修治井技术，这一套技术包括："取难""补腔""纠正井斜""修治木柱""淘井"，其工艺技术高超、独特，功用奇巧，为解除井的各种故障，确保钻井和生产井正常工作创造了条件。为此，修治井技术乃是钻井技术中一个重要的组成部分，而且，钻井和治井也是相辅相成的。修治井技术，自宋至明（代），历经发展和演变，到清代在四川自贡臻于成熟。

## 一、巧夺天工的井下"取难"技术[81]

井下"取难"，又称捞取井下落物，今名打捞井下事故。在钻井和生产井中，因各种缘故，难免会发生井盐工具落入井内，影响继续钻井和生产，盐场工人俗称井下"落难"。当运用适当的打捞工具及方法，把井下的落物捞取出来，以恢复正常钻井和生产，又谓之"取难"。这种井下"取难"技术，已有近千年的悠久历史。先民们以自己的聪明才智，在钻采盐井中，应用竹、木、铁等物作材质，创造发明了29余种打捞工具和辅助打捞工具，任何一种物件落入井中，一般都能巧妙地将其打捞出地面来，从而为发明和发展这种技术做出了卓越的贡献。

清代盐井的钻采，井深由数百米至千米以上，一般井径80～120毫米，全井上段仅下木柱表层套管，以下均为裸眼井段，使用井下工具由竹、木、铁材质制作而成，地面动力设施为人力和畜力等客观条件的限制。因而，在盐井的钻采过程中，井下"落难"，实属不可避免。发生"落难"的原因诸多，但归纳起来，主要分为两大类：第一，盐井生产中"落索、落筒"事故；第二，锉井中的"落锉"事故。

### （一）盐井生产中"落筒索"事故及捞取的方法

#### 1. 井下事故发生的原因

盐井提捞采卤常见的事故，就其性质分为自然事故和人为事故。前者在当时的生产条件下，是人们尚无法控制的事故，如井壁垮塌等。后者系操作人员违章或操作失误造成的事故，如"打龙头"、"搬竿竿"等。

按事故的类别，又分为井下事故和设备事故。设备事故有：搬倒龙、落天辊子、倒天车、打烂大车等。井下事故有断篾索、断筒、抽"冒筒"、抽"占头"、"打龙头"、搬竿竿、栽灯竿、落斗斗、摘（栽）豇豆、掉"过笼闩"等。造成落筒或连索带筒坠入井内。现就几种重大落筒事故，简述于下。

第一，"打龙头"落筒入井。"龙头"系篾索于大车上的一端。放筒入井时，由于"拭篾"（刹车带）失灵，或因操作不当（如车速放得过快），将龙头（篾索）扯断，发生汲筒和篾索全部落入井内。

第二，跑马落筒入井，又称断索落筒。在推水过程中，发生篾索爆断，连筒带索坠入井里。

第三，断筒、落筒入井。在汲卤时，因放筒至井过快，将筒杵断，或因汲筒推汲时间过久，磨损太大，造成竹筒断脱，致使其中的部分竹筒或大部分竹筒落入井内。

第四，卡筒落筒入井。在生产中，由于垮岩或地面井口掉入物件将汲筒卡住。也有操作失误，将筒脚子插入地层裂缝中被卡住，造成筒或索一起落入井中。

第五，抽"占头"落筒入井。"占头"即篾索之间接头。在提捞生产中，因篾





索“占头”抽脱，致使筒索同时坠落井里。

第六，抽“过笼闩”落筒入井。推水筒由数节竹筒扣接而成。接逗处穿有竹闩，俗称“过笼闩”。如“过笼闩穿得不牢，便容易抽脱，或竹闩断了，发生竹筒脱节落入井内”

2. 处理井下事故的原则

盐井采卤中发生的事故，则是井盐生产中“落难”事故最多、损失最大、工程最艰巨的问题。处理井下事故，如技术措施不当，或稍有不慎，将会造成事故叠加事故，甚至造成盐井报废，乃至人身伤亡。为此，解除井下故障，必须采取慎之又慎的原则。

第一，必须全面了解“落难”事故发生的过程。包括发生时间、工匠的操作、查原始记录、筒索使用寿命、地面设施、生产工具留下的规格及数量等。

第二，查阅井史。如，钻采时间、井深、井径、井斜、木柱（套管）、井腔部位、岩层裂缝位置、卤气产层井段等。然后分析、确定落物入井的深度。

第三，检查地面设备。捞取井下落物，地面设施要承受巨大的重负，超过平常生产的载负一倍或二倍，乃至多倍。因此，要全面检查地面设备的承受能力，如天车的加固（包括箍索、楔子、风篾）、动力的增大、竹篾的更换等，以确保捞取井下落物工作的顺利进行，预防在处理事故中再发生事故。

第四，备齐种种打捞工具。一般常用的井下“取难”工具有挺子、竹把手、提须（包括平头和吊脚提须）、柳穿鱼、独脚棒、四股须、三股须、扫镰、泥筒、财神锉等。如在“取难”中又落钻具，另要增加“偏尖”捞取工具。

第五，井下“取难”人员的组成。有管事、山匠、碓工、拭篾匠、铁工等各工种操作人员。但整个“取难”的全过程，均由管事统一指挥、调度及负责。

第六，记录。在打捞过程中，自始至终要做好“记录”。主要内容有：下井前详细检查工具的规格、数量；下井后，查看工具上有无痕迹；打捞起来落物的形状、数量等，要一一详细地做好记录，以便为下一次使用工具和采取措施提供依据。

3. 捞取井下“筒索”的方法

在盐井生产过程中，若因“断筒”、或“打龙头”、“抽占头”等落筒索入井内，其捞取的方法，视井下“落物”存在的状态而定，但常用的方式有三种：

第一，“筒索”一起捞取。如“筒索”并落，从井内坠入井底（即跌落不高），筒索完好，相互连接在一起，并且在井内未有其他东西卡住，是松动的，盘蜒倚于井壁，这时，则用吊脚提须带饱壳子捞取。使须钩伸入篾索里，由“螃蟹齿”或“一笼鸡”自动钩住索腰或“占头”（索连接处），同时“竹壳徐徐脱下罩之”，可将其勾稳、卡紧，连索带筒一起捞取，顺利提出井口。

“筒索”并落入井，亦可用“连环提须”或“月亮提须”捞取[72]。其打捞方法与吊脚提须基本相同。

第二，“竹筒”和“篾索”分别捞取。提采卤中，当筒索由井内高处坠落井底，造成筒与索分离，于是，采用二者分别捞取的方法，即先取索，后捞筒。

取索。如篾索在井内结一团，难分难解，俗称“索疙瘩”“索娃娃”。则须先



用“虎头”或“虎尾”等工具入井扯散带取。或用“双刀”、“穿鱼刀”等工具下井割断，再用“提须子”或“夹千子”、“独脚棒”等打捞工具入井分节多次取出。

捞筒。在井内篾索取完，便可捞筒。当筒完整无损，井内又没有泥沙杂物卡紧，则采用“独脚棒”携带“路马竹壳”放入井下，从筒的侧面钩住“冒筒”，或顺侧而下钩住筒腰，上面“竹壳”将顶罩住不致歪斜，缓慢捞出井外。同时，还可用“四股须”或“五股须”外围套一道铁箍入井抓取。

如若筒已坠坏，断成多节，或断“筒爪子”等，这时，则用“柳穿鱼”仍带“跑马壳子”放入井内，从筒中插入钩捞。完好者（如仅断“筒爪子”）一次捞出；坠断者分节多次捞取；残余碎块者则用“提须”带“竹壳”入井抱捡。

第三，宰筒。清代盐井较深，浅者数百米，深者超千米，为裸眼开采。盐井虽钻井时经油灰补腔，但生产日久，筒索入井撞碰和摩擦，井壁淡水浸渍，地层容易垮塌。如遇井下落筒，泥沙淤积井底，将汲筒卡死，或因汲筒卡入裂缝，斜倚岩腔内，或因淤泥杂物混合掩埋筒顶。在上述情况下，井下无法用工具钩捞，于是，只好采用宰筒的方法——即先用“双马蹄锉”入井踏平、踩紧，再用“财神锉”或“十字锉”等钻具，将“遗筒”及杂物一起捣成碎屑，然后以“泥筒”搧取，直至井内“遗筒”取完。

（二）井下“落锉”及其打捞

1. 钻井“落锉”事故

盐井在钻凿过程中，因客观和主观条件所限，井下“落锉”事故在所难免。总括起来，常见凿井“落锉”有以下六种情况：

第一，断篾落锉。悬吊与起下钻具的井篾不幸被折断或占头抽脱，造成篾带钻具坠入井中。

第二，“溜后门”落锉。“后门”，系钻杆上端与转槽子相连之竹把手上部（俗称“上把”），外加1~2道铁箍，并用麻纫捆扎。如铁箍和麻纫松脱或断掉，转槽子（鸡脚杆）从把手中抽脱，发生落锉事故。

第三，抽把手落锉。钻杆上端“泥座子”，捆扎在竹把手下端（俗称“下把”），因铁箍与麻纫松脱，而“泥座子”从把手中抽落，造成落锉于井。

第四，断“鸡脚杆”落锉。指转槽子下部伸入竹把手内，能上下活动（即“冲程”）之一段，因较细长，其形如鸡的“脚杆”，故名。因淬火技术问题或材质问题，或因钻硬岩“冲程”过快，致使“鸡脚杆”折断，造成落锉。

第五，断锉杆、锉头。钻杆或因淬火不当，或因材质问题，或因钻凿硬岩兼裂缝，或因锉从井口坠遗井底（俗曰：“下高钻”）等原因，均可造成断锉杆、锉头落井事故。

第六，卡锉。钻井中如遇岩层裂缝，或钻遇岩溶，或岩层垮塌等，以造成卡锉事故，但其严重程度各异。

2. 打捞井下“落锉”

由上可知，一般井下“落锉”有断篾落锉、溜后门落锉、断鸡脚杆落锉、抽把手落锉、断锉杆落锉等。但取锉之前，先须弄清发生事故的原因、落物的规格

及种数，同时对盐井的井身结构应该熟悉和了解。其次是用“提须”携带“饱竹壳”放入井内探明锉具落井的深度和存在的状况。如还不明确，可用测井器如“泥娃娃”或用“提须印模”入井打印。井下情况探明以后，再制定取难的方案和具体的打捞方法。

（1）取“落锉”

指锉具落入井内未被“卡紧”，尚处活动或比较松动的状态。其打捞方法，视井下锉具的性质和种数而定，举例如下。

例1：溜后门落锉的打捞。此种落锉，其“把手”仍留在锉杆上，并在井下未卡紧时，即用“四股须”或“五股须”入井钩住“下把”上缠的麻纫或铁箍，可将“落锉”捞出井外。

例2：抽把手落锉的打捞。即“泥座子”从“下把”抽脱，锉杆上部（“泥座子”）全无把手，则用“偏尖”打捞[73]。其方法是：将偏肩入井至预测锉杆的顶端，壳子罩定“泥座子”，井口视“缨记”或管事以手持篾审试，判断是否罩住锉顶。一经罩住即令碓工按吊“过江”，杵挺子撞“下蛋门”，这时，锉杆便徐徐进入壳子“腰径”，直至“腰径”上45～55厘米许，即停撞“下蛋门”，然后逐步挺击“上蛋门”①，使偏尖壳上端之“背篼索”退脱，因“伞把”张开，偏尖杆借其上部“蛋壳”之势使可上下活动。于是，鞭牛挽车，偏尖镫刃口遂因上提下坠之势，便退至“腰径”处，牢牢啃住锉杆上部之“泥座子”。若落锉在井内活动，便能安全推出井口，打捞出井下落锉。

但是，在打捞锉中，井下是复杂和变化的，有时也很难预料。如锉在井内被卡死，打捞不动。此时，为了安全，不致再发生井下事故，应立即停推大车，转入按吊“过江”，杵挺子撞“下蛋门”，偏尖杆随之缓缓下移，置于偏尖杆上的“鸡心刀”，便借势割断“腰径”处之麻纫，竹壳散开，偏尖镫丢脱锉杆，即将打捞工具，可安全推出地面，另设他法处理（见下页（2）打捞“卡锉”）。

例3：下高锉“落锉”的打捞。下高锉，锉杆跌断成数节，落在井下参差并立时，如带把手的一节在最上面，则用“五股须”或“四股须”等工具下井先钩取，然后依次用“偏尖”去衔取。若锉杆相互并立于井中无高矮时，则用六楞子或八楞子锉从中挤开一条路，使上段锉杆松动，再从高至矮分节捞取。锉杆捞完，“锉头”单独在井底，采用夹千（或有镫夹千）或用“五股须”入井从锉头两侧之“泥槽”插下，搂抱锉底部取出井口。若打捞遇阻又多方设法不得取时，则按“卡锉”程序捞取。

---

① 旧法冲击式顿钻称的“上、下蛋门”位置，类同近、现代新式顿钻，如美国的标准顿钻的活环“冲程”。



例4：断篾落锉的打捞。在凿井中，发生断篾坠锉。一般采用先取篾①，后捞锉的原则。如井篾断落很短，或从转槽子上部的“针鼻子”附近断脱，井下无落篾，只落有锉具及附件并且保存较完好。这时，井下打捞的方法是：先用八楞子或六楞子锉下井凿断把手上的铁箍和麻纫，将“转槽子”与锉杆分离，采用提须或木龙将“转槽子”取出，然后捞锉。

若仅上把改脱，把手完好无损地留在锉杆上，则用木龙带壳子入井，木龙由把手中插入，壳子从外顶罩住，啃稳后取出井口。锉杆上把手全无，以偏尖取之。

（2）打捞“卡锉”

钻井“卡锉”，是常发生的井下故障。有岩层裂缝、井壁垮岩、凿井不圆等，均可造成“卡锉”。但其情况各异，应分别灵活处理。一般还是从易到难，从简单到复杂的步骤，捞取井下“卡锉”。

第一，用“绝技”解卡取锉。在凿井中遇到卡锉，首先应使其解卡，则可顺利地取出锉具。此“绝技”解卡取锉有二：

一是“提、会”解卡取锉——即“文明的解卡取锉法”。所谓“提”，就是轻提、重挺“上蛋门”，造成锉具向上震动；所谓“会”，就是撞击“下蛋门”，使其锉具向下稍微退动。二者配合进行，当锉具在井下卡得不甚严重的情况，通过碓工踩碓方式，挺撞上下“蛋门”，便因震动锉具或上下磨损岩壁（或磨碎卡石），使其得以解卡，消除故障，顺利地取出锉具。

二是“筛、抖、打、发”解卡取锉——即“文武”并用的解卡取锉法②。此法是先民们长期在打捞过程中，总结的“四字”绝技，也是碓工在井下取难中，运用挺击上下“蛋门”的“四个”特殊技巧。所谓“筛”，即工匠站在碓上，握住软扶手，只弯曲脚杆用力闪动，名曰“筛”；所谓“抖”，略似筛，但仅抖“上蛋门”，为筛的次一级步骤；所谓“打、发”，即锉具在“筛、抖”不动时，大家握住软扶手，一齐用力，往下一踩碓板（“大碓板”），踩了便立即分向两边跳开，冲击“下蛋门”，猛挺“上蛋门”。筛、抖是较为文明（缓和）的取巧方法，“打与发”为武辣（猛烈）的技巧方法。二者仍交叉进行，通过一文一武，即一缓一猛的震击，则使锉具解卡。

第二，运用“翻、抱、掮、铲”打捞卡锉[76]。上述两种方法，本想通过人工在地面操作“绝技”，解除卡锉，转危为安。但如两种方法不能奏效时，证实井下卡锉严重，为此，改用“翻、抱、掮、铲”的方式，以解卡取锉。其做法是如下。

一是，解脱把手。其目的是取出全槽井篾，以防断入井中增加打捞困难。解脱把手的方法：先将原篾背在碓架“将军柱”上。另用新篾一槽（长度视井深而

---

① 关于井内取落“篾”的方法是井内千变万化，要根据情况灵活处理。第一，钩取。当篾锉完好，篾长而直倚于井壁，则用独脚棒带“船子”或者用提须、柳穿鱼带“竹壳”放入落篾预测位置，钩住“占头”（即井篾接头）后，锉具尚在篾上，又很活动，连篾带锉取出地面。如锉被卡住，则需将篾扯断或搬掉捞具“铁齿”推出井口，另按卡锉捞取（下见（2）打捞“卡锉”）。第二，钩或抱含取竹篾坠井。篾断成数节，长而有序者，仍采用钩取。短而散乱者，用提须抱取。稍短而参差不齐者，用木龙带子从中插入含取。第三，捣碎掮取。短而散乱，与泥沙杂物混搅在一起，并塞入井中，各种工具无法捞取时，则用文、武财神锉捣碎，以泥筒掮取。

② 此法以娴熟工匠操作，一旦奏效，可大大省时、省工、省费。





定)，扎于上下刀或独脚棒，并带窝弓篾（半边扶正器）入井，至把手处将铁箍、麻纫割断或钩脱，待新篾连解脱工具推出井口后，再将原篾连“转槽子”一并推出。如因泥沙埋盖时，解脱工具无法插井时，则用小“提须”等工具入井清除泥沙，至把手露出时，再解脱把手。

二是解卡取锉。当把手解脱后，便用“翻、抱、搧、铲”的方法，清除锉杆周围之泥水或其他阻塞物。所谓“翻”，是用小型柳穿鱼或独脚棒带窝弓篾下井翻、插、钩松泥沙等物；所谓“抱”，是用小提须工具套带竹壳入井抱取翻松的泥块等杂物；所谓“搧”，是用小泥筒入井搧汲提须无法抱取的细粒泥沙；所谓“铲”，则是用瓦口类工具入井铲碎无法翻动的阻塞物。总之，应用工具应视井下情况交叉进行，直至锉具松动后，再用偏尖捞出。

三是开槽眼“捞锉”[76]。如经“翻、抱、搧、铲”的方式，锉具仍不能解卡时，则采用开槽眼“捞锉”。所谓“开槽眼”，即是在落锉的侧面开斜眼，其目的是扩大井径，松动落锉，利于捞取。

关于开槽眼的方法：先以六楞子或八楞子入井，从落锉的顶部侧面开一个斜孔（俗名：开路），并随之向下钻凿，一边伤岩，一边伤铁，开孔初期呈漏斗形；至0.6~0.7米深时，然后改用斗笠尖或蜡烛头等底尖口圆的钻头，将漏斗口刮成圆眼（俗曰：引路），约刮至1米许，视槽眼情况变换工具，选用莲花瓣、桐子银锭、棒棒银锭等有角梁（即刃口）的圆形锉头继续钻进。如锉断成短节锉杆并立时，仅将上面一节开完即停止；若系全锉，必须开过锉头（俗曰：开落脚）。开槽眼中，凡捣碎的岩、铁屑，并用小泥筒搧尽。槽眼开完，或锉出现松动，即可用偏尖入井取锉。如用一种带铲工具铲一次不能取起，可多铲几次，将其周围泥砂铲松（不能铲一边或两边，必须围绕锉杆四面铲松)，再用偏尖捞取。

四是宰锉化铁。落井锉头，用夹扦或五股须等工具不能取出，或是全锉或一节锉杆和锉头，经开槽眼数次，仍取不起时，则只有采用宰锉化铁的方法。即以双马蹄锉等钻具，下井将落锉宰碎，用泥筒搧取，至落锉取完。如锉杆较粗又直立井中，井壁无腔和槽眼时，则用双马蹄锉直接往下宰化落锉。若落锉杆子细长，并有槽眼时，易于倒斜井壁，于是，则下铁制扦子（短节）堵塞槽眼，同时要将锉杆倾斜部分的空隙填满，始能用双马蹄锉宰锉化铁。当然，这是在万不得已的情况下，才采用这种方法。

## 二、高超的“补腔”技术[90]

所谓“腔”即井下岩层垮塌后形成的“硐穴”。“补腔”就是用油灰或是胆灰填补“岩穴”和“止水”技术的总称，盐场工人俗称“补腔”。现代钻井称之“补井”，其内涵与古代“补腔”相同。先民们在长期的修治井病的过程中，探索和总结了一整套高超、奇巧的补腔工艺技术，成功地制服了井下岩层的垮塌和淡水的渗透，保证了裸眼钻井的顺利进行及盐井卤气的正常生产，这是我国和世界钻井史上的伟大创举。

油灰用于盐井生产，由来已久，至迟始于明代。明人马骥《盐井图说》：“以麻合其缝，以油灰衅其隙。”可见，当时油灰已用于制作“木竹”了。到了清代，随着井盐生产的发展，钻井技术的进步及其钻凿深井的需要，因此，油灰用于



“固井”和“补腔”得到了普遍推广和应用。清道光年间，严如煜在《三省边防备览》卷十中提道：“遇井内有渗漏，能补塞之，洵称绝技。”清人吴鼎立在《自流井风物实说》里作了简明的叙述：“走岩、崩腔、油灰作丸，以弥缝其阙，无不应者。”由上可知，“补腔”技术由来已久，先辈们留下的关于“补腔”的记载，为我国古代钻井“补腔”技术史，写下了光辉灿烂的一页。

（一）补腔技术

补腔的全过程，工序较多，但按其内容不同，可分为：考腔、补腔及开腔三大工序（见图6－45）。

1. 考腔

在补腔之前，先用考腔工具入井将岩穴或淡水位置、高低及大小测考准确，以使顺利地进行补腔，这道工序谓之“考腔”。考腔又分为考走腔（又名“考干腔”）和考水腔两种。前者系岩崩而无水渗入形成的岩穴（即岩腔）；后者为淡水流出的地层裂隙位置。但考走腔和考水腔方法不同。

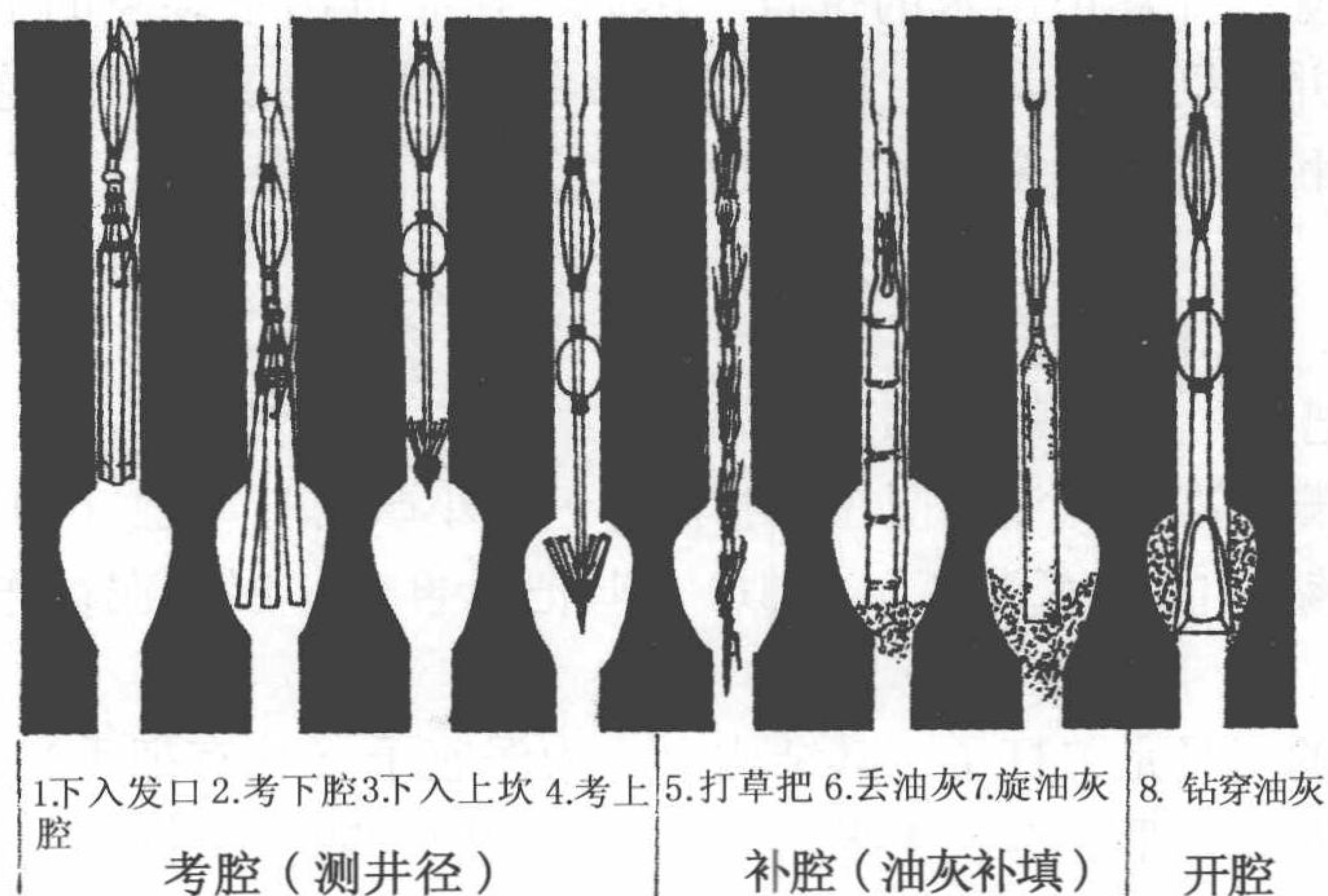



图6－45 清代钻井补腔技术

采自：林元雄、宋良曦、钟长永等《中国井盐科技史》

（1）考走腔

岩层走腔，其顶板岩层，名曰“上腔盘”，测考工具用上欠，即一种竹发口；底板岩层，称为“下腔盘”，测考工具用竹发口壳子（又称考腔壳子）。因此，考走腔就是测考上下腔盘位置，即高低和大小（一般岩腔小，可考出其大小，如岩腔太大，不能考出大小，但补腔以后，据补灰的数量，则可计算出岩腔的容积）。

测考下腔盘。下腔盘测考用发口壳子。壳子以楠竹一段，十字劈成四块，然后捆扎而成，全长1.6～1.7米。壳子中部扎有腰紧，末端向外弹发，发开直径比井径大1～3倍。使用时，先将考腔壳子的末端发口口皮用细麻绳束小扎紧，比井径稍小，然后放入预定的考腔位置，上下冲动，使发口上扎的麻绳竹针抽脱，壳子随即散开扩大，再慢慢上提、下放，反复数次，至岩的下盘遇阻时便停止。井口竹篾上套好标记，量出井深，于是，则测得了下腔盘的位置。

考测上腔盘。上腔盘考测用上欠。上欠与壳子是上下一对测考腔盘的工具，





壳子是测考下盘，上欠专用于测考上腔盘。用4～6块竹篾均匀分布扎于柳穿鱼中部，圆形发口向上，发开的直径比井径大1～3倍，呈倒伞形。测考时，不必将上欠束小，直接入井缓慢地放到已测得的腔位上，慢慢提升，至上盘遇阻即停止，同样在井口竹篾上做好标记，即知上腔盘位置。于是，根据岩腔上盘和下盘的间距，便得出整个岩腔井段顶底板的位置——谓之“考走腔”。

（2）考水腔

水腔测考工具用考水筒（又称接水筒）。水筒以楠竹一段，内通节，其底部留节密封。长约1.6～2米，直径10～12厘米。上部近口处两侧各开两孔，用麻绳分别交叉穿过，连接在挺子鸡脚杆上，同时在铁挺子下部扎一束大于井径的引草，草的下端插入考筒上口，由引草将淡水引入筒内。考水时，先将考水筒入预定的水缝处，在井口篾绳上做好标记，点燃碓香计时，待香燃到计时的刻度时（约3～5分钟），便即推起考筒。观察筒里有无水，如筒内无水，则说明出水裂隙还在下面。接着放筒入井（比第一次降深2～5米）进行再考，其法同前。如筒内有水，测计流量的多寡，并标记出水的位置。然后，在靠近出水裂隙的上下部位，分段反复考几次，并分别计量对比，以流量最多的井段为主要水缝。这样，即准确地考出井内主要和次要岩层裂隙来水的位置，名曰：考水腔。

2. 补腔

补腔方法，共分四步进行，即打草把、丢灰、旋灰及养腔。

（1）打草把

岩腔位置测考准确以后，便在下腔盘附近的小眼内打草把（即悬空稻草塞子，其作用同现代钻井的“水泥塞”相似），草把上再盖一层黄泥，作为补腔丢灰的垫基。

打草把用的工具是欠杆子，其结构上部为泥座子（扎有把手），中部是圆杆和偏杆，下端呈鸦叉口形，全长4米左右。打草把时，用一条竹索（名曰：牛皮索）串连几个草把，中间的几个从腰中捆扎，上下的草把捆一头，鱼贯式地排列在欠杆子上。然后，慢慢地放至井内预定的位置（即深度），随即向上提升，使欠杆子从草把中部抽脱，此时，竹索带动草把末端倒卷聚结在一堆，紧紧堵塞在小眼内，成为草塞子——“打草把”。同时利用草把与井眼塞紧不动，将竹索折断，再用欠杆子或其平头工具将草把压紧，填铺适当的黄泥或𫗧灰，增加草把承受上部油灰的压力。打草把个数的多少，视井内需要而定，如井径大或补灰较多，则可以多接几个草把。其井深位置，一般打在下腔盘以下1～2米，不能打在下腔盘上，以免补成吊脚楼，当然，也不能打得太深，可节省油灰用量。

如井内连续补几个岩腔，而每个岩腔相隔间距2～3米时，即在最底的一个岩腔以下小眼内打草把，用油灰将几个连腔（包括小眼）完全填补。若岩腔间隔距离在5米以上时，采用分段填补，不宜补连二腔。这不仅节省油灰用量，而且更重要的是开腔安全，可防止开腔偏斜丢掉原井眼。

（2）丢灰补腔

井内草把打好后，接着的工序是丢灰补腔。根据井的深浅和用灰不同，则丢灰补腔的方法各异。



一是浅井用干灰补腔。井深在200米左右（有的井在300米），补腔全用干灰，如猪儿巴油灰，或泥巴灰，或齟灰时，即可将补灰做成圆坨，直接从地面井口，一团一团地丢下去，填补岩腔。

二是深井用干灰补腔。深井用干灰补腔，切不能从井口往井内丢灰。因井深井壁上的小腔甚多，丢下时可能有一部分干灰滚入小腔内，或者有一部分油灰粘在井壁上，缩小井径或久之便把井眼阻塞，影响生产。因此，必须用“夹壳”带灰至井下岩腔丢送最为安全。

夹壳，其结构为：用楠竹一段，长约1.5米，其上部为扎有腰撬的四块爪子，中下部对剖成两块半圆形，下端一半与底平，口上钻两上小孔，孔内穿夹稻草一束。另在夹壳外附加一针篾即成。丢灰时，将圆砣干灰放入一半圆的夹壳内，把底端稻草分散包于灰上，再用另一半圆夹壳合拢夹紧，以麻纫捆牢，并将针篾下端附扎在麻纫上部，上端系于挺子腰部，然后放入井下补腔位置，撞上“蛋门”使篾针往下移动，将下端捆扎的麻纫划断，夹壳随即分开，油灰自动丢入腔井内，再将夹壳提出井口。

三是浅井或深井用稀灰补腔。稀灰（俗名清二流灰）补腔，既不能从地面井口丢灰，又不能用夹壳丢灰。因为是稀灰，必须装在竹筒内送到井下去，这种装灰筒称之“丢灰筒”。

丢灰筒又名渡灰筒，简称灰筒。以楠竹通节制成。其结构为：以楠竹筒一段，上部开四个爪子（犹如竹把手），在腰撬下开一对窗子。下部楠竹通节，末端无底，全长3米左右，直径8～10厘米。另在筒内附加针篾，针尖上扎有钢尖刀一把。丢灰时，先把筒的底端用布封住，并用细麻绳扎紧。然后把稀灰灌入筒内，灌满后将灰筒放入岩腔位置，即撞“蛋门”，使尖刀把筒底笓灰布划破，稀灰即自然流出填入腔内。补腔顶部高度，一般以超过上腔盘1～2米为标准。

此外，有的丢灰筒内没有附加针篾和尖刀，而是在丢灰时，通过地面按“过江”的方法，使丢灰筒在井内反复上下震动，利用筒内稀灰自身的重量冲落或冲破笓灰布而流入腔内，填补岩腔。

（3）旋灰

在补腔的全过程中，自始至终要旋灰。每丢一碓灰（约重70～100千克）或半碓灰时，则必须用一根圆形木棒（俗称“旋棒”，长约1.5～1.7米，直径大小视井径而定）放入井内，采用旋、追、挤的方法，把灰挤压入腔内或水缝中，其目的是油灰与岩石紧密凝结，提高补腔的质量，达到预期的最佳效果。

油灰补腔工作完后，由于岩腔上大下小呈漏斗形，同时油灰带塑性，所以，油灰易从腔内退回来或者与腔壁分离，影响补腔质量。于是，丢完灰后，在灰的顶面上加一个草结子，再用圆形锉头适当加压。如油灰较稀，则在灰的顶面打入一个锥形木楔（上大下小），俗曰“打签子”，以促使油灰和腔内岩壁的结合。

（4）养腔

岩腔或水缝用油灰补好后，便开始养腔，使油灰凝结。现代钻井叫做“候凝”。养腔时间的长短，按油灰的性能而定。一般的情况下较干的猪儿巴灰，养腔30～35天；二流灰养腔约42天；清二流灰养腔48天左右；齟灰不养腔，补完即

开腔。泥巴油灰养腔；䶀灰不养腔，到一定时间可提前试开一次，如油灰已凝结便即开腔，若尚未凝结好，可视灰的干结程度再养数天进行开腔。在养腔即候凝期间，钻井工匠常在补腔时留下一点样灰（名曰“标准灰”，即“实验灰”），浸泡在盐水里，用来观察油灰的凝结情况，以便作为养腔时间长短的参考。

3. 开腔

开腔，即钻穿补腔井段的油灰，使上、下井眼准确对接，不能偏斜，更不能错开丢掉原有井眼，因此，开腔难度很大，技术要求高，工艺操作十分精细，于是，盐场钻井工匠说：“补腔是徒弟，开腔才是师傅。”①

开腔时，先须找正井口中心线（俗曰“吊中墨”），然后，用双马蹄锉钻井，为预防井斜，锉杆上加带袖笼子或梭边（即“扶正器”）。开腔第一钻特别重要，不能开斜，即使在开腔中，也不能开得太快，冲程、冲次、放井篾等要严格操作，以保证钻井质量。当每钻 0.1～0.2 米，必须起钻搧泥，直至灰屑搧净为止。同时，钻深 2 米左右，还要测考井斜一次，如出现井斜便于及时纠正，至岩腔开完后，对正投入原井眼中，并达到堵（岩）塌或止水的目的，才算补腔工程的终结。

开腔完后，随即用提须或独脚棒抓草把，草把钩完，接着清理井中泥沙，即淘井，以便继续钻井或恢复盐井生产。

（二）补腔材料的研制

井匠们高超奇巧的补腔技术，不仅开创了一套完整的补腔工艺，而且还针对井下塌岩、漏水地层深浅的不同，研制出了适应各种条件的补腔材料——可分为“油灰”和“䶀灰”两大类，计十余种[90]，每种材料都有不同的性能及用途。当时，在“水泥”还没有出现的情况下，这些补腔材料的研制代替“水泥”，用于井下补腔，为治服塌岩和漏水提供了保证。补腔材料的研制成功，是我国古代井匠的又一重大创造。

1. 油灰

主要以桐油和石灰制成，但按其性能和用量的不同，可制作成八种油灰。即猪儿巴油灰、干二流油灰、清二流油灰、水打棒油灰、炭娃儿油灰、老墙泥油灰、泥裹油灰、泥巴油灰（黏土油灰）。常用的油灰如下。

第一，猪儿巴油灰：一般配制，每碓油灰用石灰（筛过细灰）70 千克，桐油 21 千克。另加试剂白芨 0.5 千克，土子 0.5 千克，混合用碓冲打 12 小时即成。此种油灰有抗腐蚀的性能，常用于补干的岩腔，或者常被上层淡水、盐水淹着的岩腔。养腔（候凝）时间 35 天左右，油灰结晶。

第二，干二流和清二流油灰：配制方法，干二流油灰，每碓用石灰 70 千克，桐油 25 千克，白芨 0.5 千克，土子 0.5 千克，四种材料混合，用碓冲打 24 小时即可。

清二流油灰，用石灰 70 千克，桐油 27 千克，白芨和土子各 0.5 千克，混合用碓冲打 24～36 小时便成。

上述两种油灰，一般用作填补水腔、水缝（即淡水岩腔、缝）或盐水淹没的

① 盐场工匠的一种俗语。但说明“开腔”要求高超的技艺。



岩腔，可抗天然气、卤水的腐蚀，用的寿命长。

第三，泥巴油灰：这是黏土油灰、泥裹油灰和老墙油灰的总称[90]。每碓油灰的配制，石灰35千克，黄泥（黏土）35千克；或石灰28千克，黄泥42千克；或石灰42千克，黄泥28千克等三种制法。另加桐油21千克，白芨和土子各0.5千克，混合用碓冲打12小时即成。这种油灰比净油灰干结快，有抗硫化氢（$H_2S$）气体腐蚀的特性。一般用于补干腔。

2. 䶠灰

每碓灰配制，以石灰70千克，䶠水（制盐后的母液）25～30千克，混制而成。当配制后结晶很快，必须立即进行补腔。这种灰容易受淡水和盐水溶解，一般只用于补无水的干腔。䶠灰结晶快，不需候凝，补后即开腔。

油灰配制的要求。为提高补腔及固井质量，油灰配制是一个十分细致的工作过程。要求做到：第一，桐油要经熬制。在制灰前，先将桐油用锅煎熬，去掉泡沫等杂物，等熬到用一片青树叶放到油里发出“吱吱”的响声，就可以了。第二，灰泥要求高质量。石灰碎细筛过，不能受潮。泥巴（黏土）要精选，不含砂质。白芨和土子都要磨成细粉。第三，制灰时的操作。桐油和石灰混合拌匀，用脚碓舂冲。舂时，要一边舂冲，一边翻动，舂冲得越柔越好，表面像缎子一样光滑，像蒸馒头的灰面一样富有塑性。一般油灰舂打12小时以上。油灰打好后，再加白芨和土子。第四，增加油灰的强度。为了增加油灰的强度，有的在配制油灰时，在每碓灰里加数公斤瓷灰（即瓷器磨成的粉），或瓦灰（瓦磨成的灰），或生铁粉，可增加凝固后的强度，特别是对油灰，泥巴油灰有显著的效果。第五，加硫磺缩短养腔时间。每碓灰加硫磺0.15～0.2千克，可把候凝时间缩短到14天以内，但其缺点是降低了油灰的强度[90]。

补腔技术的发明和油灰的研制成功，极大地丰富和发展了钻井技术的内容，从而为清代深井的钻凿及裸眼井的开采创造了条件。如，稳产、高产的东源井，在钻井过程中，先后补腔70井段次[91]，其中补走岩29井段次；补淡水腔19井段次；补咸淡水腔22井段次，终于治服了垮塌地层和淡水渗透层，使其安全钻凿。由此可知，补腔技术和油灰在钻井中具有重要的作用。

## 三、奇巧的修治木柱技术[76]

为了防止和封隔岩层的垮塌及地下浅层淡水的渗入，凡生产井均下有木柱——即表层套管。木柱在生产过程中，因推卤工具长期地磨损，或因外围来水的浸蚀，使木柱及灰麻朽坏，造成局部漏水，冲淡降低卤水含盐量。或因生产年久，木柱发生倾斜、松动等故障，以阻止气、卤生产正常进行，为此，必须采取技术措施，对木柱进行修治，甚至更换。更换木柱，俗称叼换木柱。

叼换木柱是一门专业技术，全权负责叼换木柱的工匠，俗称“叼匠”（相当于今技师职称），其职位与井口管事是平起平坐。旧时叼换木柱有种种流派，如车（绍山）氏叼换法，刘（云龙）氏叼换法等。各流派由身传口教，叼法保密。据考证，各流派采用的方法，实际上无本质区别，无非是叼换工艺略有不同而已。

修治木柱的方法有三种：一是欠灌木柱；二是叼换木柱；三是踏平木柱。其中叼换木柱又分为全槽叼换和分段叼换两种。无论使用上述何种方法，首先须进

行考木柱。考木柱主要是用“考水筒”探测木柱漏水位置及来水流量的大小。其方法与考水腔相同（详见本节二、高超奇特的补腔技术——考水腔）。其次，根据木柱漏水量的多寡，以决定采用何种修治方法。一般漏水量不大，可采用欠灌法，反之，则采用叼换法甚至踏平法处理。

（一）欠灌木柱

欠灌木柱又称纤灌木柱。如木柱损坏不严重，漏水量较小，即可采用欠灌法。其方法是：第一，打草把封住井眼。先用稻草扎束草把，放置在麻头下约 2～3 米处，封住小眼，防止欠灌时泥浆水流入井里。第二，欠通外罗泥沙。提开井帽用欠篾放入外罗（即木柱与石圈的环形空间），将木柱周围阻塞的泥沙欠通，一般欠灌深度超过漏水位置 1 米左右。第三，灌泥浆。用欠篾引灌特制的稠泥浆①至木柱外罗的漏水位置。泥浆沉淀后，自然将水缝堵塞，即可阻漏水。灌浆的高度，以沉淀后高出漏水处 2～3 米为宜。

此外，若因木柱略微倾斜漏水，先把木柱上下两端凸出部分铲平，然后挤它复位。如木柱稳定，便插入正心贴直，再用欠灌法，亦可收到显著成效。如果木柱倾斜部位无水是干腔时，则用铲刀或空心滚龙镊子工具，将其倾斜凸出部位削光或磨平，不需欠灌，仍可恢复盐井正常生产。

（二）叼换木柱

如木柱损坏严重，或发生大量漏水、倒棚，并认为欠灌或用其他方法不能修复时，则必须叼换。叼换木柱，又分全套（槽）木柱叼换和部分木柱叼换两种。其工程艰巨，耗资量大，工期较长，因而一般列入盐井大修工程。

1. 全槽木柱叼换

其步骤分为：

第一，叼用设备。主要有叼杆、枕木、叉子等。叉子是用 3 米左右长的硬木捆绑而成，高约 2 米，其形似鸦叉，故名叉子。横架一枕木，一端放在叉内，另一端捆固在将军柱上。然后在枕木上放置 12 米长的叼杆（即杠杆），其头子对正井口，枕木为支点，阻力臂长 0.8 米，动力臂长 11 米左右。另在天辊侧面加一立木，以防止摔推叼杆时跳架。

第二，封堵小眼。井口设备架好后，在木柱麻头以下约 20～30 米处打草把，封堵小眼。再在草面上投入 1 米左右厚的泥球，并用旋棒将泥球压紧粘结在一起，用以截止泥沙、淡水、木块等进入井底。

第三，叼的方法。移开井帽，将木柱顶端的索圈叼起。开始第一次入梗子。所谓“梗子”，即由棺材头、羊蹄子、偏楔、梗篾等，组成一套起叼工具②。操作时，将棺材头（或羊蹄子）扎于梗子篾或钢绳上，并与偏楔下入木柱内深 16～20

---

① 泥浆配制：黏土、棉花、干牛屎，用量比例：100∶0.05∶0.025。然后以淡水混合，搅拌成稠糊状即可。

② 羊蹄子，其形似羊蹄，故名。为熟铁制作，蹄尖加钢，大小长短视木柱规格而定，一般全长约 0.4 米，宽 7 厘米，厚 5.5 厘米，下有小云头，上为蹄尖稍向内弯曲。偏楔，为松木制成，呈半圆形长条，下端小而薄，上部宽而厚，全长约 2.3 米。棺材头，其形制与羊蹄子大致相同，不过做功刃口部分比蹄尖稍宽。羊蹄子或棺材头与偏楔等工具，均一起下入井内，同步作业。



米时，地面井口以铁杠穿入梗子丝（或梗篾）中，用麻绳扎紧。这时，即将叼杆尾部推来斜立起（与枕木平面构成50度左右的角度），然后把硬子丝从车上回脱，卷在叼杆上扎牢，慢慢把斜立的叼杆尾部放松下降，每放松一些，就撞偏楔“蛋门”，至偏楔尖端往下超过棺材头位置0.5~1.0米即可，最深不超过1.5米，使棺材头刃口逐步啃入木柱内钩紧。然后，在叼杆尾部吊上篾包，并逐渐从包内放入石块增加重力，利用杠杆原理，即将木柱叼起来。如一次叼起全槽木柱，即是最顺利的；如只是叼起其中的一部分，便接着进行第二次，或第三次入梗子，其方法与第一次同。但梗子入进木柱内深度的多寡，视井内剩余木柱而定，直至井内木柱叼完。

此外，木柱解卡再叼。如木柱外罗泥沙填塞较多，而且又被泥沙卡紧时，则先用瓦口铿将泥沙铲松后，再入梗子去叼。如木柱照样叼不起来，采用挺上“蛋门”使偏楔逐步退脱并提出井口，再用“一皮草”加力或“小霸王鞭”工具将棺材头麻绳割断，推出梗子篾（或丝），用铲刀将棺材头啃飞（凸起）的木柱铲脱，又用“齐头壳子”蹬落棺材头，如此法不奏效，再用双马蹄铿入井蹬掉，并用“提须”工具捞取“棺材头”。如井内未叼完的木柱余下很长，则用锯子裁成短节，再入“梗子”分节叼出。如锯断后仍然叼不动，即用“瓦口铿”放入木柱外罗翻松泥沙，一般易叼起。如遇外罗插不进，翻不动，认定木柱叼不动时，只有踏木柱。

2. 部分叼换法

木柱部分叼换，有两层意思：其一，当木柱某一部分（即其中的一段）损坏或局部漏水严重，其余部分完好，则采取木柱部分叼换，以此区别全槽木柱叼换；其二，在全槽木柱叼换时，如遇到木柱被大口壁塌下的泥沙或原早灌入的泥浆塞紧卡死，叼不动时，则用锯子将木柱锯成若干短节，分段（部分）叼取，直至全槽木柱分段叼完。两者叼取木柱方式相同，但其含义不同。在此，仅指前者。

部分（即分段）叼换法。先须用锯子将木柱锯断，再分段叼起。操作时，首先将锯子扎在扁杆（挺）子中部，调整好弹发的尺寸，弹发程度以能锯穿木柱外围的麻灰为准。其次在扁杆（挺）子上部的腹面（即捆扎锯子的一面），向下作梯级形分扎三匹篾即向外的锯子篾，又在背面扎上三匹篾（即向内的锯子篾，比腹面锯子篾高约20厘米），六匹篾的长短从锯口起，至连接井口外“磨手”的扁杆子为准，并将它们的尾端都连扎在“正根篾”上。“磨手”形似石磨的把手，全长约2.0~2.6尺，用熟铁打成。

下锯前，先用散麻将锯子能弹发的部位收紧，并做好活套结，用针篾约束。然后将锯子放入所锯木柱的深度，将磨手穿于木板凳孔眼中（木凳高0.6米，长约1.0米，凳中间有孔），割开正根篾，把六匹锯篾扎在磨手的扁杆上。最后将木板放平，使锯篾正对井口，随即将针篾上下活动，把针篾活绳套中的散麻扯散，于是锯杆弹开，锯齿就接触到木柱内壁。

操作时二人在井口相向而站，将磨手交替按逆时针方向旋转，使锯子在井下像圆盘锯一样在木柱内转动，把木柱锯断。木柱锯断后，仅叼起部分（即一段）木柱，井内仍留下完好部分木柱，并更换损坏叼起的木柱，名为“部分叼换法”。





（三）踏木柱

踏木柱是在万不得已的情况下，才采取宰化木柱的方法。在采用欠灌、全槽及部分（一段）木柱叼换法均不能奏效时，即采用踏木柱的办法。所用的工具是蒲扇锉或围刀锉，放入井内踏柱子（即宰木柱成碎屑），至把井内剩余木柱踏完。在踏木柱过程中，并用篾篓随时搧取木屑或碎块，称之“踏木柱”。

（四）换木柱

前已述及，木柱损坏严重或出现大量漏水，直接影响到盐井生产，乃至无法生产时，则必须叼起木柱，同时，重新下入新的木柱，谓之“叼换木柱”，即包括了叼木柱和换木柱两大工序。上述（二）只谈了“叼木柱”法。关于“换木柱”法，与钻井“下木柱”同，此略（详见本章第四节钻井工艺技术的完备——（四）下木柱）。

**四、巧妙的纠正井斜技术**[92]

在钻井中，常钻遇软硬岩层，或钻到大裂缝地层，因钻速太快，操作不当等造成井斜。主要反映在测量工具——“样筒”不活动，或下不拢钻进位置，搧泥时，搧不到井底。如钻井中发现井斜，便立即纠正，故名“纠正井斜”，通常采用下列三种方法：

（一）填石子纠正井斜

钻斜井段较短，一般采用填石子（或索、竹扦子）纠正井斜。石子填高“样筒”不明处（即开始井斜处）0.5 米为佳，然后用双马蹄钻头，杆子上带扶正器，由上往下捣锉。钻井时，冲次减少，钻速宜慢，挽子带紧，缓缓地钻凿下去，铲掉井壁上凸起的岩石，或井筒由扁规圆使井筒光滑，井身伸直。如一次纠不正，可多次纠正。但以“样筒”检测，明亮灵活为准（见图 6－46）。

（二）填木扦子纠正井斜

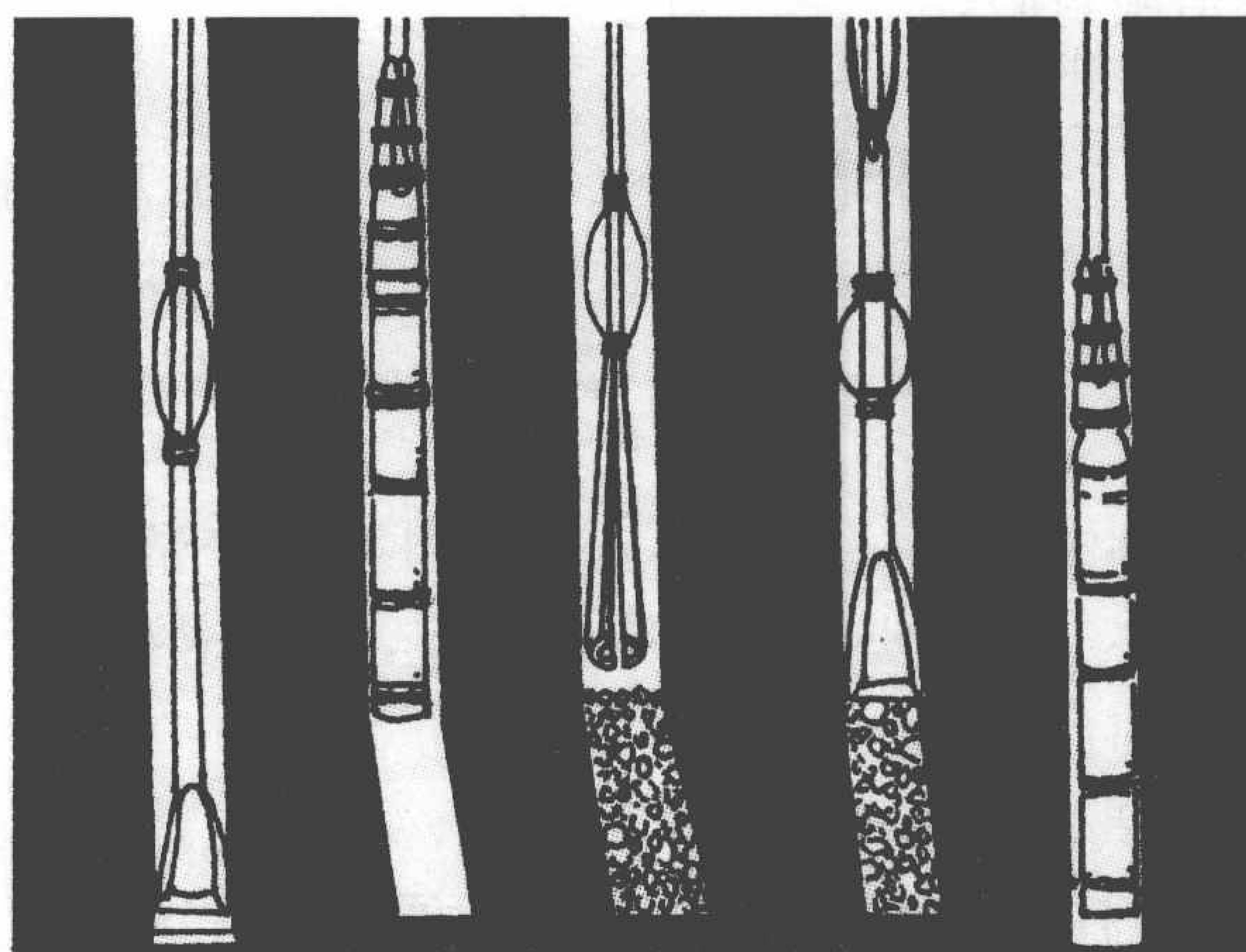
钻斜井段很长，甚至无法钻进时，或淘遇老井弯腔，已证实该井段偏离井身中线，运用上述办法是不可能纠正井斜的。这时，可用硬木料制作成小于井径 6 毫米，长 2 米左右的扦子多节，一节一节地从钻头上带到井底，捣化扦子，与此同时刮削井壁岩石，达到纠正井斜的目的。在钻捣中，当扦子化完一节散蹬，或发现“西瓜皮”（破折扦子）倾倒，立即用工具入井捞出。

（三）钻分眼纠正井斜

钻井时，如井斜部位在中、下井段，并且斜度太大，因之致废。但上井段伸直，且地下卤气资源前景良好，废弃可惜。一般采取在最大井斜部位填塞，另钻分眼，以纠正井斜，其方法是：先用“八楞子锉”开路，钻一个浅眼，作为新钻分眼的起步。然后交叉使用双马蹄、银锭等钻头逐步加深，直至终井，以此纠正井斜。

在钻分眼过程中，应注意事项：1．开孔起步宜慢，不宜快。钻分眼是一项很复杂的工序，尤其是开孔起步较难。为此，开孔时（比正常钻进）要适当减少“冲次”，即钻进宜慢，不宜快，钻分眼起好步，为下一步钻井创造条件。2．严格操作，脚脚留心，钻钻分析，发现问题，及时纠正。3．钻头规格与上段井径同。4．钻进中，分眼内的泥沙一定要搧尽。





1.钻进孔斜　2.测孔斜　3.用石子填孔斜段　4.纠正孔斜　5.再测孔斜（伸直）

图6－46　钻孔纠正井斜
采自：《中国井盐科技史》

## 五、独创的淘井技术[76]

古代盐井除上段下木柱封隔地层外，其余中下井段全为裸眼。由于提捞生产，岩层受到筒索的磨撞，或因地下浅层淡水的侵蚀和冲刷，经常使井壁岩石崩解脱落，掉块梭沙，或因生产时麻、竹等杂物落井，造成局部井段阻塞，或逐步填高井底，致使卤水和天然气产层裂缝淤塞，影响生产乃至停产。尤其是纯气井（俗称“干腔火”，即无水的气井），生产日久，井壁上生长水锈，造成井径缩小，阻塞气缝，使采气量下降。凡上述种种原因，直接影响气、卤生产，为此，必须进行淘井，才能保证正常生产。据长期生产实践证明一年不淘气卤少，两年不淘气卤枯。所以，淘井不仅能恢复和保持正常生产，而且还能延续盐井开采寿命。因而，千百年来，先民们在盐井钻采中，为合理开采及利用地下卤气资源，独创了淘井技术。这种技术，从古到今仍在一些盐场沿用。

### （一）撵封腔

所谓“撵封腔”，即井壁塌岩塞于井的上段或中段或下段，阻止钻井或汲卤工具通过，称之“封腔”。当井匠用适当工具入井将塌岩封填的井段戳穿，井筒畅通无阻，以恢复正常钻井或生产，故名“撵封腔”。其方法是如下。

先用饱“壳子”（扎在提须上）入井探测封腔的深度位置，在井篾上做好标记，然后用“吊脚提须”（带小壳子）下井包泥沙。如泥沙包不到，证实井下泥沙填封很紧，即改用“柳穿鱼”或“独脚棒”下井插进翻松，再用提须工具入井包取。如遇翻松为细沙，包不起来时，则可用“泥筒”搧取，此法可反复多次。

当塌岩封腔是硬岩石，柳穿鱼、独脚棒均插不进时，再改用“一皮草”“霸王鞭”“文财神”“武财神”等钻具，并结合井内实际情况选用，将其岩石捣碎或挤烂，撵穿封腔。如封腔井段太长，岩石硬，一时很难撵穿，则采用下锉，将岩石捣成碎屑，用泥筒搧取，至撵穿封腔完结。走岩封腔是经常发生，古代盐场井匠

们创造了多种方法，以治服封腔。

（二）刮水锈

盐场俗称的“水锈”，又名“水垢”，即二氧化硅（$SiO_2$）固结物，结晶透明，玻璃光泽，白色，含杂质则成黄色或褐色。这种物质常附在井壁上十分牢固、坚硬。日积月累，积厚造成井眼缩径，因此，要加以铲除，以免妨碍生产，故名“刮水锈”。

刮水锈操作方法和钻井基本相同。常用笼铲瓦口及盐杆铲子，或用双马蹄钻头等工具下入井内，从盐井上段逐步往下铲除，直至全井水锈铲完。

刮水锈一般的操作规则：

第一，刮井时，如井壁上附生的“水锈”较厚，一般先选用单铲铲（如笼铲瓦口），后用双铲铲（如盐杆铲子），或其他工具，逐渐铲掉井壁上的水锈，扩大到原井径。

第二，刮井顺序，从上到下，由浅入深，至井壁上的水锈除尽。

第三，在刮井过程中，冲次不宜太快和过猛，以防止工具从水锈空隙间挣过去，陷入在下面，不能推转来，发生井下栽卡事故。

第四，如井壁裂缝中嵌插有铁杆时，可采用罄钟蹬掉。

（三）淘井

盐井裸眼提捞开采，由于筒索日复一日、年复一年地在井壁上下撞碰摩擦，因而经常发生走岩、掉块、梭砂沉入井底。同时，在生产中，掉落铁箍、脚子、竹麻等物，这些泥沙、落物、咸淡水在井底混合，并搅杂在一起，逐渐淤积填高井底，至产层部位，阻碍卤气的畅通，造成盐井减产，甚至停产。于是，采取定期或不定期的淘井，以保持盐井正常生产。

所谓“淘井”，即是采用“包、翻、捣、搧”的方法。“包”——即运用“提须”带小壳子入井包取泥沙及混杂物。“翻”——即当井底填积物非常紧塞或坚硬，不能直接用“提须”包取时，则改用“柳穿鱼”或“独脚棒”下井插松、翻动，使井下填积物变得松软，然后再淘取。“捣”——即当泥沙与碎铁杂物（如铁箍、脚子、竹麻等）混合、搅杂在一堆，结成一团，非常紧密、坚硬，这时，既不能包取，又插不进，翻不动，则采用文、武财神锉将其捣碎（俗称宰化），然后用泥筒搧取。“搧”——即用泥筒搧取泥沙及碎屑杂物。淘井“包、翻、捣、搧”（“四字”）法，清除井底填积物，保持井下干净、畅通无阻，不仅有利于盐井安全、持续生产，而且还可以充分地开采和利用井下卤气资源。

由上可知，先民们独创的淘井技术——撵封腔，系指锉穿封堵井筒的崩岩；刮水锈，系指铲掉井壁上附生的固结物（$SiO_2$）；淘井，系指清除井底上的沉积物。为此，三者有着不同的工序和内涵。但它们彼此之间亦是不可分割的。如，刮水锈即铲脱井壁的水锈，一般落入井底，待井壁上的水锈刮尽，然后又淘井。又如，在撵封腔的过程中，仍有一部分泥沙落入了井底。所以，刮水锈、撵封腔与淘井，既是不同的工序，又是密切相连在一起的。而三者的共同点乃是排除井内阻塞，使卤气资源畅通无阻，以保持盐井的正常生产，延长开采寿命。



## 第六节　清代四川盐业的繁荣

明清之际，四川战乱频繁，人丁锐减，百业凋敝，井盐业备受破坏，“惨目伤心，莫可名状。”[93]清朝统治者面对盐区百业待举，呈现井停灶歇，盐业全面瘫痪的残存景象。为了恢复井盐生产，增加财政收入，稳定和巩固在四川的统治，一方面“以广招徕”[20]，组织和鼓励外省移民入川，凿井垦荒；另一方面采取减免“四川商民盐课”的优惠政策[94]，致使四川井盐业从战乱的衰败中得以迅速地恢复和发展。伴随蜀省盐业的复兴，于是，清初四川形成了五大产区。清中后期，由于犍富盐区钻井技术的日臻完善，地下深层卤气资源大规模的开发，市场的拓宽，因此，盐业有了飞跃的发展。这时，川盐“重心”，由川北向川南转移，自贡逐渐成为四川和我国井盐生产的中心，盐业达到了空前的繁荣。

### 一、清初四川五大产区和三大中心的形成

清初，四川井盐生产，可分为两个时期，其一，顺治至康熙年间，为川盐生产迅速恢复时期；其二，雍正至乾隆年间，为川盐生产大发展时期。据有关史料记载：

康熙二十五年（1686 年），全川产盐区（场）达到 26 州、县，总计有盐井 1 182 眼[95]。雍正九年（1731 年），四川巡抚宪德鉴于当时全川盐井征榷混乱的状况，对四川盐井做了一次调查、清理：全川产盐共计 40 州、县，盐井 6 116 眼，岁产盐 77 284 623 斤[96]（折盐约 46 139 吨）①。乾隆时期，全川开凿井迅猛发展，如乾隆二十三年（1758 年），全川产盐达 38 厅、州、县，总计共 8 336 眼[97]，岁产盐 136 435 025 斤（折盐约 81 452 吨）[48]。川盐的大发展，生活在乾隆、嘉庆时期的学者严如煜做了如实的记述：“四川之货殖最巨者为盐。川北之南部、西充、射洪、乐至、蓬溪；川南之犍为、富顺、荣县、资州、井研；川东之忠州、云阳、开县、大宁、彭水；川西之简州；上川南之盐源；州县著名产盐者二十余处。而地出咸水可以熬盐，闾阎私井不外卖者，不在此数。”[26]在此过程中，关于盐井钻凿的艰辛，卤源盈缩变化，潜伏的风险，官府的催课等，清人陆文祖《盐井歌》做了精细、生动的描绘：

仙井之乡盐井湾，熬波出素供盘餐。
天一斥卤实不测，不生于水生于山。
地师陟降相地脉，铮铮圆刃裂山骨。
千锤万凿风雨惊，会须撞破毒龙窟。

鬼为斧兮神为工，力久一旦豁然通。
殷勤入城报官府，官批试煎硃字红。
安置牢盘井旁坐，驱牛旋车如旋磨。
辘轳汲水千丈来，灶头鼎沸人争贺。

---

① 清（旧制）一斤，折今公制 596. 82 克。





今年新井初开淘，去年旧井罢煎熬。
地力转瞬易穷尽，安得咸泉如波涛。
长官催课问官井，岂知灶户灶已冷。
输纳偶迟遭比追，杖吃皮肉枷荷颈。
系我小民觅蝇头，此中弊窦何时休。
呼嗟乎，此中弊窦何时休！[98]

由上可知，四川井盐生产，遭受明末清初长期的战乱，几乎毁湮一尽，但雍正、乾隆年间获得了迅速的恢复和发展。康熙二十五年（1686年），全川有26州、县用“浚新补废”的办法，先后复淘的盐井，总计1 182眼，基本上恢复到明代水平。至雍正九年，盐井猛增达6 100余眼，年产盐约9 227万斤，盐井和盐产量大大超过历史上最高水平（如南宋绍兴年间卓筒井顶峰时期，盐井4 900余眼，岁产盐6 000万斤），这种迅猛发展是前所未有的。同时，产盐除满足本省外，还远销滇、黔及鄂省部分地区。

清初，四川井盐生产，在恢复和发展过程中，由于各区的地质条件、卤源盈缩、钻采手段、产销惯例等差异，自然形成五大产区：“川北射洪、蓬溪——旧名华池厂；南部阆中——旧名福兴厂；川南嘉定、犍为——旧名永通厂；富义、荣县——旧名富义厂；川东云阳——旧名云安厂。此五厂产盐最多，川属产盐之二十一州、县，皆附此五厂之内。”[99]在这五大产盐区中，射蓬、犍乐及富荣三个盐区又以卤气资源的优势和钻采技术的先进，脱颖而出，产盐最多，最为有名：“方兴之初，潼川之射洪、蓬溪最旺；犍乐、富荣次之；其余各井又次之。”[1]川北射蓬盐区，此区地下卤源较丰，埋藏浅，易于钻采。开凿时，运用了先进的钻探工具——铁钎钻头，同时钻井、打捞、淘井技术结合并用，开发地下浅层卤水资源。因而，不仅开凿深超过“百丈”，而且钻井速度快：“井浅者，春十旬；深者增十二三，甚或增倍。”[74]于是，清初射蓬盐区首先得到迅速恢复和突飞猛进的发展。康熙二十五年（1686年），射洪盐区有盐井306眼，蓬溪盐区有盐井141眼。到雍正九年（1731年），射洪盐井猛增至2 319眼，蓬溪盐井亦速增到1 257眼[97]。乾隆二十三年（1758年），射洪有盐井又增到2 612眼，蓬溪有盐井1 257眼[97]，蓬区较雍正时期略增，保持了稳定的发展。射蓬盐区，以盐井最多，运销地区广，最早远销黔边岸，领居全川首位，因而获得盐业“最旺”的赞誉。

川南犍乐盐区。该区资源埋藏比川北地区深，工程甚巨，耗资较多，开凿工期长，通常每井钻至300～640米，历时2～5年不等，乃至“凿之十余年而不及泉者”[26]。但卤水（黄卤）含盐量较高、产量较大，因而获利甚丰。犍乐盐区在明清之际战乱中，遭到极大破坏，但清初获得了逐渐恢复和稳步发展。康熙二十五年（1686年），犍为盐区有盐井280眼，乐山有盐井107眼[95]。雍正九年（1731年），犍为县增到672眼，乐山盐区盐井增至614眼。乾隆二十三年（1758年）犍为盐区有盐井738眼，乐山盐区有盐井370眼[97]。足见，清初犍乐盐区向纵深开拓有了新的发展，因而获得了水丰咸重的黄卤资源。

川南富荣盐区。清初，在射蓬和犍乐盐区迅速恢复和大发展的同时，富荣盐



区也较快地恢复和发展起来。康熙二十五年（1686 年），富顺有盐井 90 眼，荣县有盐井 6 眼[95]。雍正九年（1731 年），富顺盐井发展到 281 眼，荣县盐井增至 17 眼。乾隆二十三年（1758 年），富顺盐井增到 397 眼，荣县有盐井 16 眼，火井 11 眼[97]，计 27 眼。这时，富顺盐井发展很快，荣县天然气有了新的突破。

清初，四川三个著名盐区的恢复和发展简况见表 6－2。

**表 6－2　清初四川三大中心盐区**

| 产区＼年间 | | 康熙二十五年（1686 年） | 雍正九年（1731 年） | 乾隆二十三年（1758 年） |
|---|---|---|---|---|
| 全川盐井数 | | 1 182 眼 | 6 116 眼 | 8 336 眼 |
| 射蓬盐区 | 射洪 | 306 眼（占 26%） | 2319 眼（占 38%） | 2612 眼（占 31%） |
| | 蓬溪 | 141 眼（占 12%） | 1 251 眼（占 20%） | 1 257 眼（占 15%） |
| 犍乐盐区 | 犍为 | 280 眼（占 24%） | 672 眼（占 11%） | 738 眼（占 9%） |
| | 乐山 | 107 眼（占 9%） | 614 眼（占 10%） | 370 眼（占 4%） |
| 富荣盐区 | 富顺 | 90 眼（占 8%） | 281 眼（占 5%） | 397 眼（占 5%） |
| | 荣县 | 6 眼（占 0.5%） | 17 眼（占 0.3%） | 27 眼（占 0.3%） |
| 其他 | | 252 眼（占 20.5%） | 962 眼（占 15.7%） | 2 935 眼（占 35.7%） |

据《四川盐法志》卷五、《古今图书集成》卷六九二等文献列出。

由上表不难看出，射蓬盐区从康熙二十五年，雍正九年及乾隆二十三年的盐井数，分别占全川盐井总数的 38%、58%、51%，均居第一。犍乐盐区，仅次于射蓬盐区，名列第二。富荣盐区与射蓬、犍乐盐区相比，仍是屈居第三位。盐井大发展，究其原因，一是与清初推行的缓和盐政有关；二是与钻井工具（包括地面设施）的改进和发展有关；三是与钻采地下卤水资源有关。

## 二、清代自贡盐业的鼎盛
## ——四川井盐业兴盛的典范

由于明末清初的战乱，川盐井灶几乎全废，井塌灶歇，"百不存一"。至顺治、康熙年间开始逐渐恢复。康熙、雍正、乾隆时期，川北射洪和蓬溪（简称"射蓬"）盐厂盛旺，称作"潼引"。乾隆后期，射蓬因"秋水暴涨"　"坍废者大半。"[100]从此，逐渐衰败。继起犍乐盐厂，一跃而居射、蓬厂之上，步入了极盛阶段。后因卤源枯缺，出盐极少，在竞争中败于富荣盐厂（即今自贡盐场）①。清中、后期，自贡盐业的鼎盛，成为四川盐业兴盛的典型代表。

### （一）川盐产区"重心"从川北移到川南

清康熙、雍正及乾隆初，川北射蓬盐区，以凿井最多，销区最广的优势，一直名列四川各区之冠。但到乾隆中期（1765 年），早已出现"井固"的现象。其后，又受"秋水暴涨"，盐井"坍废者大半"的重灾打击，元气大伤，自此，走向衰败。后到嘉庆末（即 1814 年左右），川北盐区"井枯课亏"[101]，已经相当严重。同时，射洪盐井实属浅层淡卤，其含盐量甚低，制盐率不高，"煎盐用草而工费"，即耗能高，致使成本昂贵，产品单一，质量低，"其产花多而巴少"[1]，因而，销

① 自贡盐场清代称之"厂"。清初自流井和贡井向系一厂，名富义。于雍正八年，分贡井归荣县辖，自此，把富义分成两个厂，自流井称"富厂"，贡井称"荣厂"，两厂合称"富荣厂"。

路不畅。这些内、外部条件，使射蓬盐区自身发展受到了极大的制约。于是，“射蓬即衰歇，反以犍富为上。”[1]即四川盐业的“重心”，已经日渐由川北向川南的犍为、富荣盐区转移及发展。

犍乐盐区的极盛。前已提及，犍乐盐区，从康熙至乾隆初，属于四川五大产区及三个著名盐区之一，仅次于射蓬盐区，名列第二位。到乾隆后期（1786 年），该区盐井增至 1 122 眼，总计煎锅 1 617 口[102]。这时，在盐产量方面已超过射蓬盐区，从而步入了极盛时期。到 1850 年左右，仍产销两旺，“现查犍富两厂，产盐甚旺。”因之，“边岸畅行。”[103]犍乐盐以优质价廉“其色白、其质纯，川贩因之居奇”[104]，深受用户的欢迎。所以，又逐渐取代射蓬盐在黔边岸及大宁、云阳盐在楚计岸的宠销地位[105]。

但犍乐厂好景不长，在咸丰时，由于“井老水枯，出盐极少”，在川盐激烈的竞争中，又败于富荣盐厂（即今自贡盐场），“富厂产盐之多，远过犍厂。”[106]“四川盐井近来获利数倍，富顺尤为最旺。”[104]由上不难看出，四川井盐业“重心”的变迁，先从川北射蓬盐厂开始，然后移到川南犍乐厂和富荣厂。

（二）自贡盐业的鼎盛

自贡盐业历史悠久，盛产井盐，驰名中外。自明代中叶“新开自流等井”一批新井投产后，自流井即开始新的崛起，从而使自贡地区的盐业生产发生了引人注目的变化。到明末天启年间，自流井地区的盐业发展到“三百八十眼”[14]。可见，于明代中、后期，自贡盐业生产已具有相当的规模。

清初，自贡厂与射蓬、犍乐盐厂齐名，已是四川五大产区和三个最著名的产盐地之一。据有关史实记载：清康熙二十五年（1686 年），自贡厂（旧称：富义厂）有盐井 96 眼；雍正八年（1730 年）盐井增至 298 眼，煎盐锅 755 口[57]。所产之盐除销本省 30 余个州、县外，还销黔（贵州）、滇（云南）、鄂（湖北）等省。盐业的发展，销区的扩大，可见，那时自贡盐业生产的能力和规模，已成为全川井盐的重要产区；到乾隆二十三年（1758 年），自贡厂有卤气井 423 眼（含气井十眼），煎盐锅 1 001 口[57]，年产盐量达 3 015 余万斤[97]，而当时全川年产盐量在13 643余万斤，于是，富荣厂则占四川年总产盐量的 22%。仅次于射蓬、犍乐盐区，成为四川三大著名产区之一。当时，自贡井灶星罗棋布，遍及城乡，盐业生产日发展，经济繁荣。

清中后期，富荣厂盐业获得了飞速的发展。嘉庆以后，由于钻井技术的日臻完善，包括钻井、打捞、补腔、治井等工艺的成熟，促进了盐业向地层深部的开拓。道光时，上千米的深井相继出现。三叠系嘉陵江组的黑卤和天然气主气藏得到开发，为富荣厂盐业的大发展创造了物质条件。道光十五年（1835 年），燊（兴）海井钻深达 1 001. 42 米，是中国也是世界上第一个超千米的深井，这标志着我国古代钻井技术在当时已走向世界前列。钻井技术的成熟，促使了盐业飞跃的发展，年产量达 6 000 万千克（折盐 6 000 吨）。这时，在四川三个著名盐区中，富荣一跃而居射蓬之上，仅次犍乐，名列第二位。

川盐济楚与自贡盐业的鼎盛。清咸丰三年（1853 年），太平天国革命风爆席卷神州大江南北，长江运道梗塞，淮盐不能上运湘、鄂销区，楚民淡食，清廷旨令



改供川盐，即所谓“川盐济楚”。这给川盐开拓了两湖广阔市场，也给自贡盐业的飞跃发展带来了契机。于是，“富厂乃大开井灶，并办深井，及于火脉，火乃大升，盐产日增月旺，逾于犍厂。”[78]此时，自贡丰饶的资源，精湛的技术，井架林立，百工荟萃，商贾辐辏，盐业达到了空前的繁荣，步入鼎盛时期，开辟了井盐史上“第一个黄金时代”。“富厂今新旧井四千三百有奇，除下停锉，枯废各井，实有一千七百有七井”[107]，年产食盐达20余万吨，一直到清末大致稳定在这个水平上，占全川总产额一半以上[108]，富厂产盐量已大大超过犍厂。所产之盐，具有洁白、粒匀、坚硬、质纯、味美的优点，“川贩因之居奇，淮岸因之日废。”[104]因而富荣卤获得了极好的声誉和销路，除行销本省十余州县外，还远销湖南、湖北、云南及贵州百余州县。同时，年征税银多达170万两之谱，约占川省总征盐税的40%以上，四川盐税在财政中超过了田赋[68]。据美国人弗吉尔·哈特于清末考察统计，认为当时富荣厂盐业年产值约为4 940万美元。

简言之，自贡盐业的鼎盛，跃居犍乐、射蓬厂之上，名列全川第一，成为四川井盐生产的中心，我国最大的井盐产地，独执四川盐业之牛耳，有“银窝窝”的美称。至此，以“川省精华之地，富庶甲于蜀中”，闻名于世。

## 三、四川盐业繁荣的主要原因
## ——以自贡为例

清初，四川井盐业已形成五大产区：即川北有射蓬区、南阆区；川南有犍乐区、富荣区；川东有云阳区。其中以射蓬、犍乐、富荣三个区最著名。但在这些区内如射蓬、犍乐区，由于内外条件的限制，其繁荣不能持久，便走向衰落。而富荣区则不同，从清初到清末，自开始崛起，就不断发展，进入鼎盛时期，且长期不衰，成为四川和我国最大的井盐生产基地。富荣盐区的鼎盛，足以代表四川盐业的繁荣。因而，其繁荣的根源很值得研讨和总结。

关于清代四川盐业大繁荣的原因，归纳起来主要有生产力的提高、资源的优势、市场的拓展及盐政的放宽等。

### （一）生产力的提高

#### 1. 钻井技术的成熟——加速地下深部卤气资源的开发

清初，射蓬盐业迅速的恢复和发展，是与运用先进的钻井技术紧密联系在一起的。早在明代后期，射蓬盐区的钻井技术就有了重大的改进，铁钎钻头的研制成功，打捞工具铁五爪的发明，固井工艺（木制套管）的新突破，淘井技术的发展，这种先进的钻井技术，清初在射蓬盐区仍然沿袭和应用。于是，盐井从306眼（1686年）猛增至2 612眼（1758年），盐业得以突飞猛进的发展，一直居全川第一。

清乾隆、嘉庆时期，川南犍乐厂的钻井技术，在川北盐区的基础上又有新的发展。为了解决深部地层的垮坍和漏水，发明了补腔技术，即补腔“绝技”，能有效地征服岩塌和止水。犍乐盐区补腔技术的发明和发展，钻井技术的进步，极大地促使了犍乐厂盐业的迅速恢复和兴起。因之，盐井由387眼（1686年）新增至1 122眼（1786年），在产盐量方面超过射蓬厂，进入了极盛阶段。

自贡钻井技术的成熟。明末清初，由于战争的浩劫，四川的井盐遭受到极大

的破坏，自贡亦不例外，“富义厂原有盐井四百九十二眼，自明末天启年间以来，先后坍塞盐井有四百五十八眼，几乎破坏了93%以上。入清以后，只剩下盐井三十四眼，煎锅九十九口。”[57]因此，自贡地区的盐业在雍正以前主要为恢复时期，而且这时的盐井仍是卓筒井的模式如，“新罗小井……水淡盐微……宋王小井……水重卤轻”[57]，据此推算，当时钻采的盐井深度在约300～500米。盐井开凿的深度和规模，反映了钻治井工具没有多大的发展。雍正以后，特别是从乾隆开始至道光年间，由于钻井技术的发展和不断的完善，盐井开凿深度增加，如，老双盛井乾隆三十年（1765年）钻到井深530米处遇天然气，日产气约160立方米。反映了当时的钻井水准。迄至（清）道光时期，已出现了钻采、修治、固井等工具群。同时，地面各种机械亦不断改进，趋于完善。如燊（兴）海井复原和地面保存下来庞大的机械，如天车、大车（绞车）及碓架等配套成龙，操作自如，自此足证，钻治井工具已臻成熟。这些工具的完备，极大地提高了劳动生产率，加速了向地下深处盐、卤、气资源的开发。至清咸丰、同治年间，自贡盐厂达到了极盛时期。《自流井记》、《自流井风物名实说》及《四川盐法志》（卷二、卷三）中记载了这些技术，其中以《四川盐法志》（卷二、卷三）记录颇详。说明了当时钻井、连接、打捞、辅助打捞、叼换、修淘等技术都发展到了一个新的阶段。这一时期，是自贡盐业发展的鼎盛时期。

2. 自贡——巧匠的荟萃地

随着地下深部资源的开发，大灶的涌现，对技术的要求愈来愈细，逐渐发展和形成了一个独特的技术行业部门，成为各种巧匠的集中地。清道光时期，温瑞柏撰《盐井记》，对盐场众多的工种和劳动的盛况做了绘声绘色的描写：“其人有司井、司水、司车、司篾、司梆、司漕、司涧、司锅、司水、司饭；又有医工、井工、铁匠、木匠……气上冒声四起，于是，非战而群嚣贯耳，不雨而黑云遮天。一井如此，千井若何？一时如此，四时若何？”

在众多的工种中，又以井、灶、笕等管事为之重要。清人李榕在《自流井记》中写道：“井、灶、笕、号四管事，盐之重任也。”

清代自贡盐场巧匠云集，人才辈出，有千里迢迢，从江西入川，移居自流井，艺高手巧，以锻造凿井锉头（铁匠）起家，到办盐井致富的大盐商李亨、振修两兄弟；有雇员出身，巧打深井，包取滥井，被人尊崇其独到技术的颜蕴三；有与盐场毗邻，由威远（县）来自贡，不习它艺，唯擅长钻治井技术，家袭相承，即一门五代管事的余福和家族。自贡盐场又有青出于蓝，而胜于蓝，号称盐都钻井和治井“四大金刚”的熊佐周、潘孝移、伍志钧等高级人才。他们历代传承，创制各类工具，不断向地层深部拓展，发展生产力，为自贡的繁盛起了积极、重要的作用。

3. 盐厂的原动力——牛

早在南宋宝祐元年（1253年）就有淯井“改用牛具推水车取水”的记载，但仅属个别盐井，没有普遍推广。明代《天工开物》《盐井图说》等史籍中多记载驱牛转盘，汲水而上，获“力逸而功倍也”，乃是小井、浅井牛车。清代川南自贡和犍乐厂已普遍推广应用。



自贡盐厂自乾隆以后，随着井深的增加，井径的增大，天车的升高（高者约30～40米），推筒的增长和加大，因而采卤机械要承受更重的负荷，牛成为自贡盐厂推卤的主要动力。据《自流井记》载："以牛车推咸水者曰车房、曰牛房。"《自流井风物名实说》记载："汲水者为纤藤，以竹为之，绕于车盘。以四头牛周行，谓之推。井浅则用三牛，井深则用四牛，井深水多则用五牛。"用牛数量多寡，可以反映出盐盛兴情况：如清末，"每年行销盐约四百二十一万二千担（折盐约21万吨）。……每头牛每天采卤一担为一般标准可知，自贡常年需用采卤的牛约二万三千四百头。"[109]加上其他生产的用牛，最多达"近三万头"[109]。犍乐厂年饲养牛只推水也在"7 000头"以上。为此，牛为井盐业的发展和兴盛，立下了赫赫战功。

（二）得天独厚——卤气资源的优势

钻治井工具的成熟，巧匠的荟萃，解决了凿井的手段和技术问题，是川盐发展和繁荣的前提。而大自然的恩赐，卤气资源的优势，则是井盐兴盛的物质基础。

四川地下卤气资源丰富，誉为我国腹地的"聚宝盆"，川北射蓬盐区，卤水产于侏罗系蓬莱镇组或遂宁组中，具有埋藏浅，水丰卤淡（含盐量100克/升左右）的特点。川南犍乐盐区，三叠系香溪群（今名"须家河组"）产黄卤。其特点：埋藏较深（比川北区深，但又比自贡区浅），卤水含盐偏高（一般约100～150克/升）。自贡盐区（此仅指自流井构造）地下矿产资源十分丰富，不仅盛产黄卤、黑卤、岩盐，而且，还盛产天然气。黄卤产于三叠系香溪群层中。黑卤产于雷口坡组及嘉陵江组嘉$_{五}$段中。各含卤层中均产天然气，其主要产层为嘉$_{三}$气藏。当时，自贡盐区卤气资源的优势，突出表现在以下三个方面。

第一，水（卤水）、火（天然气）俱全。众所周知，自流井构造地下卤气资源非常丰饶，不仅有黄卤、黑卤和岩卤，而且有天然气。卤水是制盐的原料，天然气是熬盐的燃料，水火俱全，火丰咸重。利用天然气煎盐产量高、盐质优、成本低，这一大优势，是当时川东、川北各地所不能比拟的。

第二，资源（埋藏）浅深皆备。清代四川除犍乐地区井深"百数十丈"[110]外，其他地区的盐井，浅者约二十丈，深者一百余丈。自贡地区，资源埋藏浅、深皆备。据《四川盐法志》卷五（第4页）记载："火井，在（富顺）县西九十里，井深四五丈。"从自流古井的发源地和形成推算，最浅含卤层深仅仅只有几丈。前者史志记载为火井，后者据史载并经过实地考察则是卤井，无论火井或卤井，浅者不足10丈[111]，深者达300多丈[72]。……于70～80丈……而得咸者为草皮水；230丈深得黄水，含盐量约100～180克/升；250～260丈……为黑水，含盐量180～250克/升；卤水"深及三百丈，而咸水不旺"[21]。主气层如嘉$_{三}$层，一般深度超过300丈。自流井构造除嘉$_{三}$主气层外，其他含卤层位（如香$_{六}$、香$_{四}$、香$_{二}$、雷$_{三}$、雷$_{一}$及嘉$_{五}$）同时都产天然气。所以，钻凿一眼井，或浅或深可获"水、火、油得一者"，甚至一举两得或一举多得。自流井构造资源丰盛，气卤多层、气卤共层和同井、浅深皆备的优势，亦是其他地区无法相比的。

第三，就井建灶。由于资源埋藏深浅皆备，气卤同层和兼采，所以一旦凿井成功，便可立即就井建灶、煎盐，从而大大地加快了井灶建设的速度，节省了大





量的物力、人力及财力。这是自贡盐厂的突出特点之一，更是优越其他盐区之处。

（三）社会对食盐需求量的增加——市场的拓展

随着清王朝的建立和巩固，社会的安定，人口的增殖，市场的繁荣，川盐销区不断扩大，对食盐的需求量迅速增加。乾隆四年滇省东川、宣威等地盐供不应求，四川犍乐增54万斤盐，如数供滇，仍“不足以济滇省之用”，“另将自流井余盐配滇销售。”[112]至乾隆末，川盐除供给本省外，远销黔（大部地区）、滇（三府州）、鄂（八州县）等地。

清咸丰三年（1853年），太平天国在南京建立了农民政权，于是长江下游盐运梗阻，淮盐不能上运，两湖地区需盐告急，清政府作为权宜之计，破例借拨川盐运销楚岸，以满足两湖人民食盐的急需。这时，川盐遍销楚岸，获得广阔的市场。当时自贡产盐每年平均约436万担①（折218 000吨），济楚盐约占产量的1/4，其后又有增加。于是，自贡盐区乃凿井兴灶，并办深井，“十年之间，计达盐、火井一百余眼”[65]，四川盐井获利数倍，尤以自贡为最。食盐销售的增加和丰厚利润的收益，刺激了盐业的飞速发展，自贡跻身于著名手工业城市的行列，被誉为“盐都”而蜚声中外，名扬四海。

由于两湖发生“盐荒”，“民苦淡食”[78]，“乃以川盐济销”[78]。为了缓解盐荒，自贡盐厂千方百计研制和改进钻治井工具，并发展成工具群，利用这些先进工具，起复旧井，新钻深井，如“火井王”——磨子井、灯烛井等都是这时钻成功的。钻治工具的发展，促进了盐业的大繁荣。

（四）富荣盐场的科学管理

清代富荣（今自贡）盐场的科学管理，也是促进和推动井盐生产经营飞跃发展、盐业兴盛的一个重要方面（详见本章第七节清代井盐生产经营劳动组织管理）。说到盐业的管理，当然是多方面的，但本节侧重从三个方面（包括建立员工劳动组织管理、年度奖励及工人技术考核制度），论述了清代富荣盐场管理的特点，即清代富荣场管理的方式，已类同现代企业管理的模式。

（五）盐政的放宽

由于明末清初的战乱，使四川绝大部分井灶废坏，如，自流井的盐井破坏了93%以上。为了恢复井盐生产，增加税课来源，充实国库，清政府放宽盐政，实行了一系列的缓和政策。顺治十七年（1660年）新规定：“蜀省食盐皆产于井，……开凿艰难，每一井常费中人数家之产，应照开荒事例，三年起课，以广招徕。……贫民易食盐斤，应令四十斤以下者准免课税，四十斤以上者仍令纳课。”[39]雍正十二年（1734年），对全川井数进行核实，凡废坏、干枯等井无用者，准以“开除”，实行“据实清查”的积极措施。[65]乾隆四十九年（1784年），四川盐茶道林俊，针对当时四川盐课严重亏欠银（达20万两）的实情，为弥补旧课，盐政进一步放宽，推行民众凿井，永不加课的扶持政策，鼓励民间广开新井。这一政策结果收到了预计的效果，从而补足了亏欠旧课。据清《富顺县志·盐政》（乾隆二十五年版本）记载：清雍正八年（1730年），征课银1317两，到乾隆二十二年

① 一担按100市斤计。



（1757年）征课银仅1421两，27年间增加104两，平均每年递增不足四两。由此可见盐政的宽容和稳定。

总之，自贡盐场由于生产力的提高，得天独厚的地下盐、卤、气资源，为盐业的发展奠定了雄厚的物质基础。再加上政府对盐政的放宽，减免课税，使井、灶户获得休养生息的时间和条件。同时不断地吸引大批盐商来自贡凿井兴灶，加强科学管理，从而使自贡盐业生产得到了迅速的恢复和发展。至清咸丰、同治年间达到鼎盛，“一举称雄”，成为四川和我国井盐生产的重要基地。

## 第七节 清代井盐业生产经营劳动组织管理

清代，随着井盐生产的高度发展，盐业规模庞大，劳动工种的复杂且分工越来越细。与此同时，为适应大规模生产的需要，也逐渐形成和建立了一套严密的、独具特色的井盐生产经营劳动组织管理体系。

### 一、组建了严密科学的井盐生产经营劳动管理机构

自从有了人类的共同生产劳动，也就有了管理。并伴随劳动规模由小变大、分工和协作的日益精细复杂，则管理便是一个不可缺少的中间环节。所谓“管理”，有的人认为“管理就是决策”；或解释为“有组织的行动”或理解为“协调”；或从管理的内在规律和处理方式考虑，于是把管理定义为是一种“科学和艺术”[113]，如此等等，“管理是人对运动着的整体（人、事、物、组织）的一种控制。”[113]就工业生产方面而言，管理是企业为实现和达到计划目标的一个重要环节。因此，有人认为，英国在19世纪，如果没有成功的管理作为基础，当时领先世界的工业革命，几乎是完全不可能的；英国到了20世纪40年代工业又落后于美国，其根源便是它的管理陈旧[114]。清乾隆、嘉庆时期（1736—1820年），四川富荣盐场已出现了资本主义萌芽，并进入了工场手工业阶段，至咸丰、同治年间（1851—1875年），工场手工业有了高度的发展，出现了一大批工场主和盐业资本财团，其中以王三畏堂、李四友堂、胡慎怡堂、颜桂馨堂为代表，即被称作老“四大家族”。这时，井盐生产规模宏大，主营业务齐全（井、灶、笕、号皆备），雇工众多，分工细密，内外事务繁忙。于是，分工专业化必然带来协作，协作即需要管理。这些大资本集团生产经营盐业突出的特点——组建了严密、科学的生产经营劳动管理机构，（清）李榕《自流井记》有简明的记载：

“凡计议官私厂务者，谓之垱首；商酌买卖盐价与时为低昂者，谓之经纪；驱使杂佣接待宾客者，谓之外场；凿井者，谓之山匠；烧盐者，谓之盐匠；安火笕（输气管道）置火圈者，谓之灶头。灶头世其业，不习他艺。”

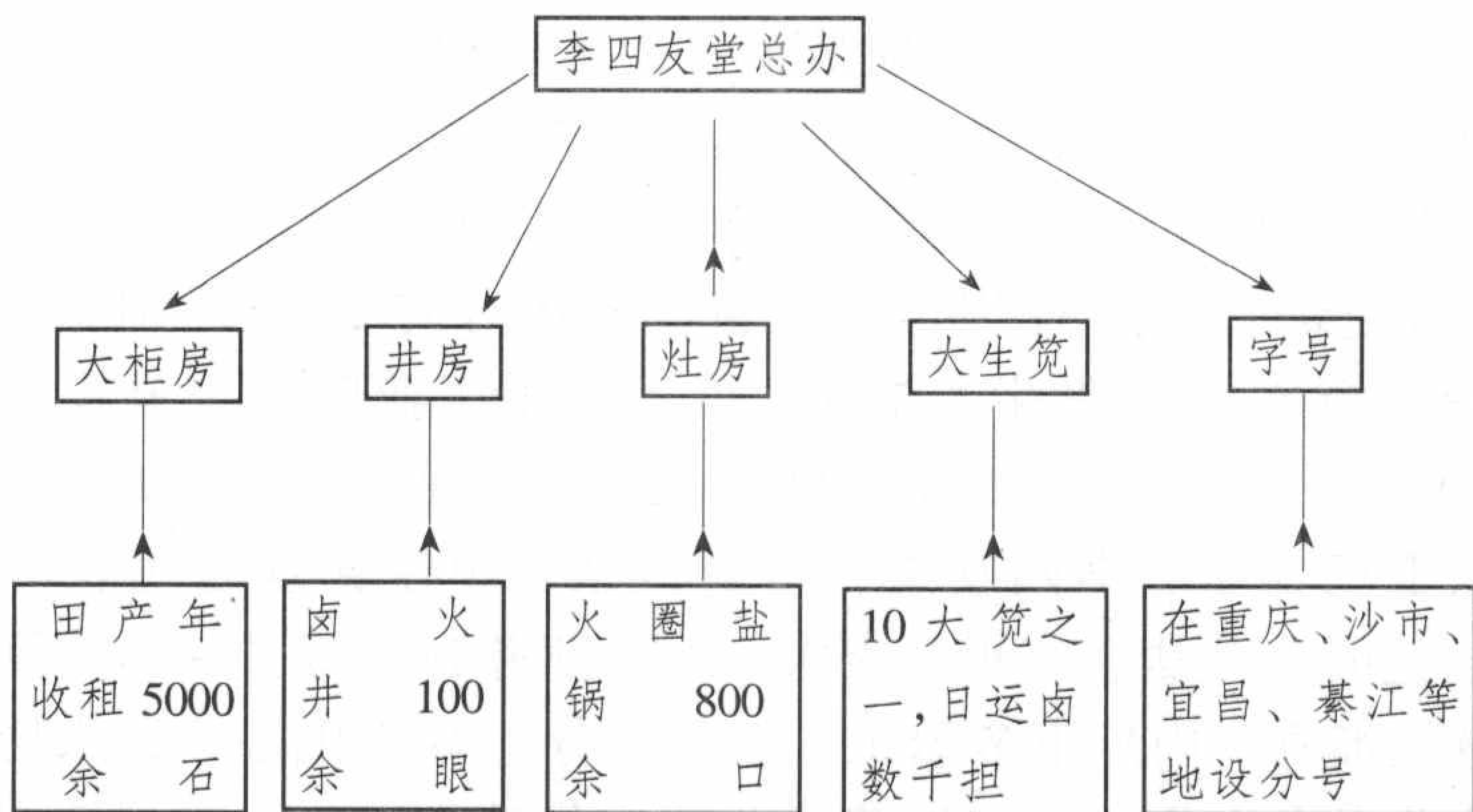
另，（清）吴鼎盛立《自流井风物名实说》更有详细记载：“厂上有董事焉；总理井之勾当（即总管各井之事务），宣上令通下情者，其名谓之垱首；灶上有理事焉，领东家本银，以办井及灶及号，其名谓之掌柜；其分理外事及接待宾客，其名谓之外场；厂下有佣侩焉，谨守出纳之管，媒合行商低昂盐价，其名谓之经纪；有执役綦久，终其事不更易以成盐灶者（长年劳役终身为盐灶辛勤工作的灶师），其名谓之灶头；有杂于佣伍，作器具以补化工者，其名谓之山匠。有长于心

计，能提调山匠使作器治井者，其名之管事。统众驳烦，纲举目张，独厂规然乎哉。”由此看来，清代富荣盐场已建立了组织细密、上下互通、左右配合、内外相联的管理机构。董事为最高层管理者，总管全局；其次，垱首为“宣上令通下情者”；再次，掌柜“领东家本银”，实为盐商财团派出的代理人，管理井、灶、笕、号四大业务；还有外事及接待宾客的有外场；管理出纳，商行交易有经纪；最后，灶上技术管理有灶头；井上技术全权负责有管事，山匠受管事调动指挥。

总之，当时富荣盐场，已形成了一个规模庞大的手工工场，劳动组织管理和业务技术分工，类同现代工厂某些劳动组织和分工形式。盐场从上至下，分设总管（“董事”）、厂长（“垱首”）、管理井灶（“掌柜”）、经营（“经纪”）、行政（“外场”）、到井灶上直接操作的工匠（“山匠”、“灶头”），分工都非常明确。

清代，富荣盐场，王、李、胡、颜四大资本财团，设置管理机构完善，垄断产、运、销大权，其中以李四友堂生产经营管理最为突出。李四家族最高管理层设置——总办，下辖大柜房、井房、大生笕、灶房、字号五个分支机构。各机构主要职能：大柜房，主管田产，年收稻租计五千余石，其部分收入供井、灶、笕、号需要；井房，主要盐井及火井 100 余眼，日产卤水数千担，火圈 800 余口；灶房，负责制盐生产的管理；卤笕，专管贡井至自井郭家坳及大坟堡到郭家坳笕管输卤上灶煎盐；字号，管理食盐对外运销。由此，构成了以钻井、采输、煎盐、运销一个完善的管理机构。其五个组织管理机构（见表 6－3）。

**表 6－3　总办下辖五个分支机构**




采自：胡善权等《自流井李四友堂由发轫到衰亡》

上表总办下设立的柜、井、灶、笕、号五个下属机构，均系平等的单位，即相当于今盐业车间级，实行专业化管理，设有严密、系统的各级管理组织，指派专人负责。在此，仅以灶房为例①，让我们进一步剖析总办下分支机构系统的管理。

灶房的管理机构是柜房②。柜房的主要负责人是掌柜，总管全局，掌握内外大权，人称“一千两银子的东家，八百两银子的掌柜”“只有满天飞的掌柜，没有满天飞的东家。”[28]足以说明，掌柜权限很大，且物质待遇优厚。

① “灶房”即制盐的单位。
② “柜房”即“管银钱”的部门。



掌柜之下，配有助手，管账和帮账各一人。管账主要业务是管理账目，并协助掌柜进行管理，凡掌柜不在时，他可代替掌柜处理内部一切事务。帮账是管账的副手，有的还兼管现钱。

总灶一人，总管制盐生产，同时处理烧盐、捆盐、吊秤等项业务。总灶之下又设坐灶数人，协助总灶管理生产。每一坐灶管理30～40口火圈，坐灶人数视火圈多寡配置。坐灶管理烧盐工人、守盐工人、桶子匠、挑白水等。

总签一人。其下设散签数人。主要业务管理翻挑卤水、配兑卤水，使卤水咸量达到一定的浓度标准。散签人呼"码头先生"，挑卤工人俗称"挑水匠"，其强度大，每挑一担卤水足重150千克以上，因此，不是一般劳动的工人所能挑得起的。三大灶计有挑水工1200余人。

师爷（相当于今秘书）一人。"系斯文儒雅之士"，负责对外接待应酬场面，能力强，水平高者，还作总办的智囊高参，出谋献策。

跑街，其职能是采购零星货物等。

外水场，主要业务是卤水的购买、接洽交涉。

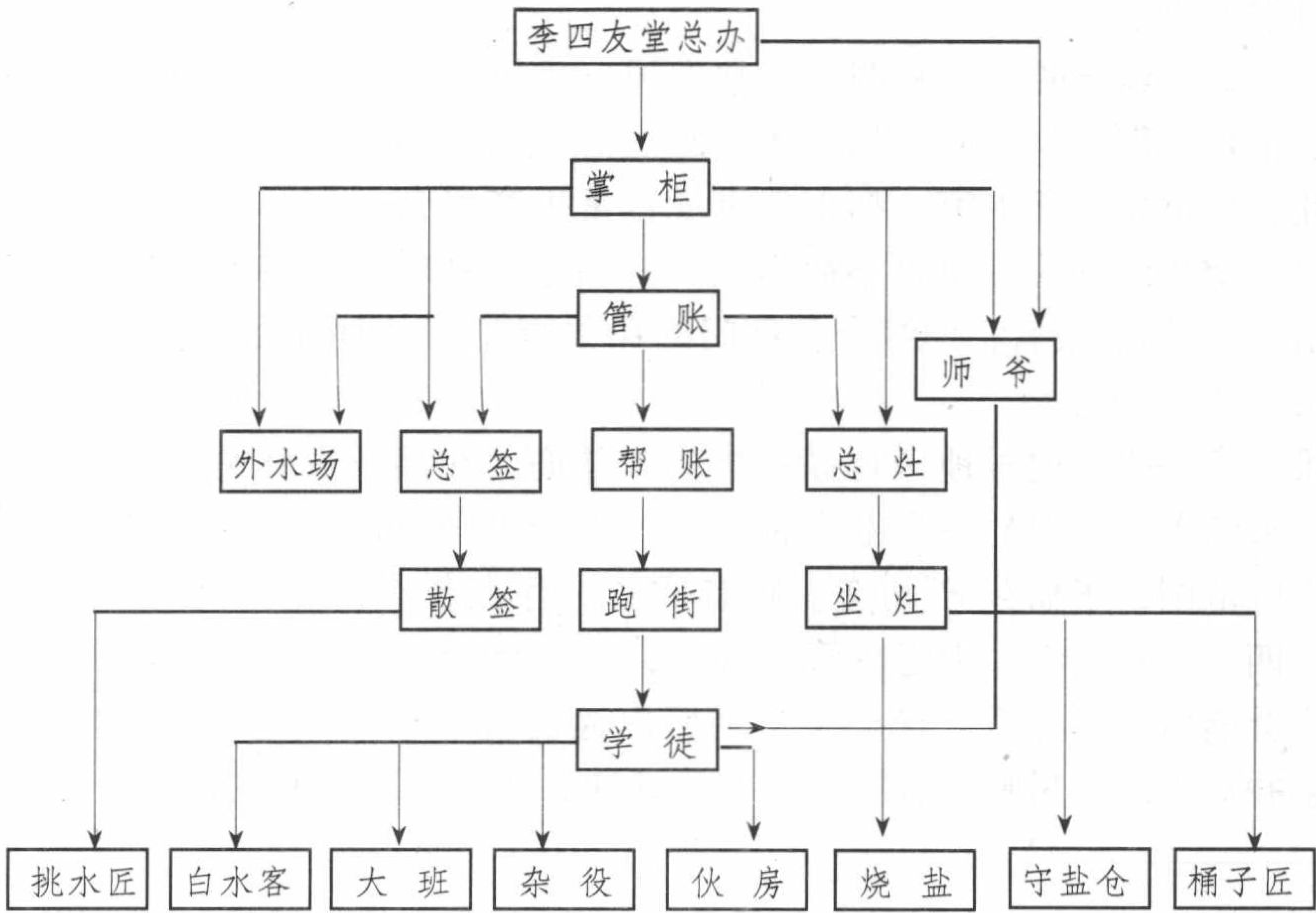
学徒，人叫"学老师"，为培养后备的管理人员。学习写账、珠算，兼做杂事，招待来宾。

烧盐工，每人烧火圈5口，四友堂三大灶有火圈500多口，佣工100余名。

其他还有挑白水工人（俗名白水客）、炊事员（俗称火房）、杂役、抬轿大班等。

上述各种人员，掌柜、管账、帮账、总灶、坐灶、总签、散签、师爷、学徒、跑街系属职员，是灶房高、中、低级管理人员，有30～40人，其余挑卤工、烧盐工、挑白水等固定工和零工总加起来，有近1 500名。关于李四友堂灶房管理组织系统（见表6－4）。

**表6－4　井盐灶房生产组织管理系统**







采自：胡善权等《自流井李四友堂由发轫到衰亡》

关于管理机构职能的运作和有效作用。所谓管理的职能，主要分两个方面，一是关于重大事情本身的决策和实施；二是关于人事方面的组织和协调，二者合一就构成了管理的职能。井盐生产和经营包括产、运、销业务，是一项很复杂的系统管理，所制订的管理目标计划和做出决策，在盐业生产中有着极为重要的作用，它在很大程度上决定生产经营的成功或失败。清代，富荣盐场“四大家族”根据自然资源的配置和市场的供需情况，做出较为科学的决策，生产经营取得了很好的社会效益及经济效益。其管理机构职能的运作和有效作用，分年度计划和日常工作两大部分。

第一，制订年度计划和决策。如，王三畏堂的业务计划集中在每年的端午、中秋、年关三关，尤其是年关，谓之大关。一年中应当兴办什么事业，需要资金若干，向官运局买引盐若干，预计售卖票盐若干，自运楚岸若干等进行深入详细的研究并决定一年总的计划。又如，李四友堂四大房的代表，每年在农历正月十八日集会，除报告业务情况、清算各项账目外，还要商决有关井、灶、笕、号的年度营业大计。事前，总办分别与井、灶、笕、号的掌柜交换意见，商议营业如何进行；事后，总办又分别同井、灶、笕、号的掌柜联系，指示经营大计，布置具体工作。外地如，渝、宜（昌）、沙（市）、綦（江）、仁（怀）等地的掌柜，在每年三四月间或先或后，都须回到自贡，向总办述职，商议问题，并面授机宜。再如，胡慎怡堂和总柜房，每年元宵节后，召集重要会议，通知各井、灶、笕、号负责人参加，分析、讨论去年的生产经营利弊、得失，从而制定新一年的计划。如在执行中形势发生变化，须经过大家讨论，加以修改和增订，这样，便使上下同心，搞好生产经营，企业兴旺发达。足见，老盐业家族凭他们长期的管理经验，又依靠其较完善的管理机构，并根据客观的形势变化，能及时调整经营计划，做出较为科学的决策[115]。

第二，日常经营的安排和调度。常言道，千里之行，始于足下。企业的发展和兴旺，不是一蹴而就，而是从每天勤勤恳恳经营开始的，到年终岁末，自获厚利。因此，自贡盐业资本家，都十分重视日常生产经营的安排和调度。如王达之就任王畏三堂总经理时，每日早晨由洞口井新宅，乘轿到金丰井，听取大掌柜或“四大朝臣”① 的汇报后，便综合各部门的业务情况，当即面授机宜，做到每个问题都解决，然后才离去。

吴景让堂是四川犍乐地区首屈一指的大盐商，在吴子春任总经理时，每日事务纷繁，头绪多端，但他每晨七点钟以前，不分天晴或刮风下雨，必定首先走遍大丰灶全区范围，了解生产动态，胸有成竹。存在什么问题，立即解决。同时，每逢一、四、七日场期，规定总管、管井、管灶负责人或山匠，风雨无阻地到大丰公柜房会商生产；逢五、逢十亲自到后山巡视盐井生产；逢三、逢九又亲自到沙湾了解井灶生产。另晚上有闲，还专约管灶、灶司或有经验的烧司，研究灶型，

① “四大朝臣”，系指：基业掌柜冯竹轩、扇子坝井灶掌柜颜葛民、大生笕下塘掌柜欧友筠、广生同井号掌柜朱子余等高级管理人员，分别管理业务，成为王氏家业的顶梁柱，故名。



改进燃烧方法，既节省燃煤，又提高盐产量。他说："煤为盐之母，无煤不成盐。"对隔离较远的企业，责令专人，三天一表报，每天一电信，掌握情况，以便调度和指挥经营。吴子春在盐业世家的影响下，精明能干，善于管理，懂得生财之道："手不离算，口不离产，心不离钱"，管理精细，细如一点钟成盐多少斤，一转车人、牛走多少步，一匹桷子用几颗钉，一个工时盖多少瓦，他都得精确不误，人说："吴子春的计算好"，"他的算盘挂在胸口上"[31]。吴氏家族从吴德嵩开创，经三代的嬗递，到吴子春时，达到了极盛阶段，拥有井、灶、盐号、煤矿等19个单位，其他厂、号14个单位，田产遍布川江上下游广大地区，雇工达1 000人以上，积累资金逾100万，成为四川犍乐地区首屈一指的大盐商[31]。

**二、建立奖励制度**

清代，盐业资本家对全体员工施行奖励，乃是工场管理一个极其重要的方面。盐业工场主除对职工实行"计工受值"外，另设有各种奖金，这些奖金有年度奖、月度奖及日常奖三种主要形式，以此稳定人心，鼓励职工职守，勤奋工作，忠心耿耿为工场主效力。

人是工场的灵魂。工场活力的源泉和管理的职能，最终是要归结到人的问题上。对职工的"奖励"，都是正面调动全体员工的积极性和创造性，也是工场生存、发展的原动力。清代富荣盐场的老"四大家族"（如王三畏堂、李四友堂、胡慎怡堂、颜桂馨堂），在激烈的市场竞争中，群雄逐鹿，一举登上了巨富宝座，"富甲全川"，蜚声天下，虽有诸多原因，但与全面调动职工的积极性、重视技术、强化管理是分不开的。关于奖金发放的规定如下：

（一）年度奖

其中又分为三年一奖和一年一奖（又名"年终奖"）。

1. 三年一奖[28]

由陕商及李德山合伙组建的协兴隆仁怀号①，资本雄厚，业务飞跃发展，便实行了这种奖励办法。即每年从所获巨额利润中提出总数的20%左右储存总号，不是每年奖励（俗称"分红"），而是三年总结算——把三年积累的巨额红奖一齐摊分，三年一账，分红制度由总号的掌柜严格执行。掌柜（即高级职员）占大股，三年工作期满，所得奖金非常可观，足够解决一家生活费用。其他大小丘二（即中、低级职员）依工资的多少摊分，其红奖也不少。

大工场主李四友堂在富荣盐场井、灶、笕的一般丘二工资（包括红奖）收入稍差，但在重庆、宜昌、沙市、仁怀等外地盐号的职员，工资较高，红奖又多，储存千两白银的颇多。

2. 一年一奖[31]

犍乐大场商吴景让堂实行了一年一奖制度（即每年岁末，给职工发奖金）。每年农历腊月二十四日，分别在井、灶"团年"，从掌柜、山匠到采卤、烧盐、打杂

① 陕商（田、刘某）仁怀边岸行商，为保证业务进行，必须在政界找靠山。他们知道李德山（李四友堂总办）的堂侄李裕如为云贵总督王文韶器重，升为云南盐政负责人之一。于是，陕商联络李德山各资二万白银，合组字号协兴隆，经营仁怀边岸，故名"协兴隆仁怀号"。

等职工，每人奖给“红封”（今名“红包”）一个，金额多少，由总经理吴子春决定，一般从十吊铜元至二十元银币不等。以表示场主对职工的“宽厚”，特别是高级职员深感知待，受宠若惊，甘愿为场主终生效力。如，雇员张辉山掌柜，在钻凿大龙、来龙、顺龙三井时，日夜坐守，不辞艰辛，竭尽忠心，因而三口井顺得钻成，增加了丰富的新卤源，为工场发展立下了汗马功劳。

（二）月度奖[31]

吴氏家族，不仅设有年终奖，而且还搞了每月奖。月奖在生产经营上收效甚大，立竿见影。如，在大丰公各井卤水产量，按其生产条件，规定每天产卤定额，当日下班用竹尺测量，每刻度净卤足重 620 斤（一般为 500 斤），因产卤定额较高，工人通过辛勤的劳动，加倍的努力方可完成任务。同时，每月可得些“津贴”“红酬”。其奖金名目有：井上设有丰顺红、超水钱、看丝钱等；灶上设有口色钱、饼重钱、伙份钱等；外雇泥、木、石、铁工则分别设有热（高温）活钱、冷（低温）活钱、黑（晚上）活钱、急活钱等（外雇工各活钱的金额可买牙祭肉半斤或双份），也是表示对工人的“优待”。

（三）日常奖——“脚脚红”[116]

绳式（竹篾）顿钻法，是利用杠杆原理人工捣碓钻凿盐井。碓板（即杠杆）一端（俗称碓头）系竹篾悬吊钻具，另一端为工匠用脚踩碓梢下降，这时，碓头随之扬起，提起井底钻头；工匠松脚时，碓梢复原，钻头立即冲击井底岩石，完成一个钻井冲次。如此往复，井底岩石不断受到冲击破碎，并搧泥（取出井底的岩屑），使井逐渐加深，直达全井完成。

所谓“脚脚红”，即钻井中用“脚踏碓梢，如舂米形”。以工匠捣碓脚数计值，如脚数愈多，则“红线”也愈多，名曰“节节高”，鼓励井匠拼命干。其目的是增加捣碓脚数，同时也增多钻头在井底冲击碎岩的次数，从而加快钻井的速度，提前完井“见功”。因之，“脚脚红”是盐商一种创造性的管理方法：一则盐井钻成提前“见功”，可大大节省建井工程费用；二则盐井即早投入生产，便能创造出显著的经济效益，如，自贡盐场的广济井，盐商在开办中，采取给凿井工匠每踩一脚发五个小钱，全井总计多支红钱（白银）352 元。但该井因“脚脚红”而大大加快了凿井工程进度，比原计划提前 18 个月钻完，累计增产卤水 54 万担，获利 17.28 余万元。但以这种方式刺激工匠捣碓凿井，其劳动强度大，如偶有不慎，容易发生人身伤亡事故。

**三、井盐业工匠技术等级的考核标准**

**——以传统钻井技术关键工种为例**

清代，四川富荣盐场盐业生产空前繁荣，与此同时，盐工队伍已发展扩大到数十万人，如钻井、采卤、输（气）卤、制盐及其相关行业，各类工种多达近 100 种，其中以钻井技术工种为最关键和最重要。

清代盐场矿山钻井技术，系以“口传身教”技艺，现场操作表演，为其显著



特征。但根据清代史料①记载，工场主按工匠技术高低，职能大小，凿井工匠有井管事、山匠、碓工之分。20世纪50年代中期，自贡盐场组织老管事及管理矿山的老人员讨论，按工匠的“应知”“应会”，侧重于实际操作，制订出凿井工人技术等级标准。仍是划分为管事、井务、碓工三种类别计八级。三种类别沿袭了清代的分法，而八级则是在三种类别的基础上划分更细，其大的原则尚未变化，与清代完全相同。关于传统凿井工匠技术等级考核标准如下：

（一）碓工（今称钻井工）

共分四级（即1~4级），最低为一级，最高是四级，其技术等级标准如下。

1．一级碓工应知和应会

应知（三条）：

第一，知道钻淘井的打捞工程安全操作规程和岗位责任制。

第二，知道常用钻具及修井工具的名称。

第三，知道按过江、捣碓、转碓打挽子等一般常识。

应会（五条）：

第一，能按过江、扯一般润子、抬、拖锉等操作。

第二，能按过江试旦门、贯碓、搬碓尾、转碓等。

第三，能识别一般钻治工具名称。

第四，能检查下井工具、竹篾等有无问题（不安全的因素）。

第五，能喊缨子、掌家伙、扯铃子及其他杂物工作。

2．二级碓工应知和应会

应知（四条）：

第一，知道淘井打捞中的操作规程及安全。

第二，知道各种钻具、家伙名称和用途。

第三，知道捆扎啄井设备的操作过程。

第四，知道淘砂（即取岩屑）的方法。

应会（六条）：

第一，能扯光滑的润子、熟练的按过江，并能掌家伙、能上碓（包括贯碓、发碓、捣大碓）。

第二，能认识各种钻具、家伙的名称、规格及用途。

第三，能上下揹木、清理竹篾（或钢丝）、砍一般打杂撬撬。

第四，能使用润杆子、捆扎设备附件。

第五，能检查竹篾（或钢丝）及各种家伙有无问题，提出初步处理意见。

第六，能淘取砂样、参加叼换木柱、补腔等工作。

3．三级碓工应知和应会

---

① 清代，《自流井记》《自流井风物名实说》等史籍有名明确记载：锉井工种分“碓工”“山匠”（又名井务员，今称司钻）“井管事”等。这些名称（如，井管事等）一直沿袭至新中国建立后未变。1956年，工资改革时，盐场制订出《工人技术等级标准》，其中包括“锉井工”（又称顿钻工）。作者根据传统锉井工技术考核（主要以应知、应会）标准，又专门走访了自贡盐场权威管事李树林（87岁，头脑清楚）等，而后写成“以传统钻井技术关键工种为例”一题。

应知（五条）：

第一，知道捆扎附件（如扎壳子等）的工作。

第二，知道捆扎矮神子、排坊架、迁杆丝等，并知道各种凿井设备的操作方法。

第三，知道钻井、补腔、叼换木柱、打灰、下灰、赶灰、刮灰柱子的一般操作。

第四，知道打过龙的操作方法。

第五，知道做脚子的操作。

应会（六条）：

第一，能砍撬撬、扯专用润子（如，下把、连占头的润子等），能捣大小碓包括筛碓、打碓、发碓、捣碓等。

第二，能捆扎上把、壳子信篾及做脚子等。

第三，能捆扎迁杆丝、扎矮神子、排坊架、碓腰子及其他凿井设备。

第四，能淘砂、认砂，初步分析工具现号情况，简单分析井内问题。

第五，能领导碓工小组按制度进行工作，安排工作不错、乱。

第六，能打过龙、坐棒棒操作。

4. 四级碓工应知和应会

应知（二条）：

第一，知道钻治井打捞工程、补腔工程及拘水工作的操作。

第二，知道钻井中各类岩层的名称及变化。

应会（十条）：

第一，能捆扎全套凿井设备。

第二，能砍把手撬撬、连占头、开砍壳子、信篾等。

第三，能捆扎上把和壳壳、扎涩、做搧泥、推水脚子。

第四，能简单分析工具、现号及井内情况。

第五，能担任拘水工作。

第六，能组织和领导小组人员正确进行工作。

第七，能掌握夹牛头（或揹木）全套操作。

第八，能熟悉打过龙的全部操作，并能达到要求。

第九，能基本掌握找井底操作。

第十，能放大车拭篾（刹车带）。

（二）井务（今称司钻）

从5~7级，主要职能是领导小组（或全班）工作，技术水平比碓工高，但又比井管事低，业务工作受管事提调。

1. 五级井务应知和应会

应知（五条）：

第一，知道安全规程、技术操作规程和岗位责任制。

第二，知道有关井哐、井壁、井深、井径及主要岩层的一般情况（如丝槽、弯哐、偏眼、紧口子、卤气缝等的部位）。



第三，知道一般新旧钻具的种类、名称作用及使用方法。

第四，知道钻井、修治、固井、打捞工程及生产井一般下井工具的使用方法和旧式工具的制造方法。

第五，知道绳索（包括竹篾或钢丝）、汲卤筒（包括附件）的规格质量负荷标准及使用安全定额标准。

应会（五条）：

第一，能制作捆扎、安装、汲卤筒及全部附件（如冒筒、过龙斗斗、脚子、龙筋丝、针鼻子等）规格质量符合要求，并能正确掌握安全定额，鉴定消磨程度，确定更换时间。

第二，能按程序检查绳索、汲卤筒及特殊工艺要点，以及有关井口各项设备和保安设备，能及时处理，做到安全生产。

第三，能烧制、浸泡楠竹及鉴别楠竹或大车拭篾的规格质量，并能连丝篾占头、砍叼扎各种壳壳、把手、冒筒，能正确使用一般新旧钻具，掌握旦门、冲程、冲数并能在别人的指挥下，掌握开补哐、刮水锈、开槽眼的操作。

第四，能指挥拘①卤工人，大车拭篾匠，按规程正确操作，并能指挥有关工种，正确进行搭丝、换筒、天地辊、窖油、打过龙、推新筒、拖推筒等作业，能经常指导以上人员正确保护井口各种设备，使井口经常保持正常秩序。

第五，能识别一般下井新旧钻具草图，并能正确掌握缨记的位置不混乱。

2. 六级井务应知和应会

应知（四条）：

第一，熟知汲卤生产中各种井口设备及下井工具的制作安装知识。

第二，熟知钻井、修治、打捞工程的操作及工艺流程的知识。

第三，熟知钻井、修治、打捞工程及生产井的一般下井工具绘制草图的方法。

第四，了解有关井矿特殊变化的规律和象征，具有处理的知识（如，卤气岩层的变化、防止事故规律的方法）。

应会（六条）：

第一，能精确制作结扎安装汲筒及全部附件（如，冒筒过龙、斗斗脚子、汲卤器龙筋丝，针鼻子等），达到标准，经久耐用，节约材料。

第二，能掌握井篾（或钢丝）、汲卤筒的技术定额及磨损程度并能正确进行技术鉴定和有效地改进设备、工具，保证安全。

第三，能鉴别天车、天地辊、大车及井口设备的故障，并能及时地解决问题。

第四，能独立担任钻井、修治、打捞工程的开、砍、叼、扎各种工具及安装操作，达到标准。

第五，能独立进行考哐、考水、开槽眼、刮水锈等工作，并能分析井下各种象征的反映，能够提出措施解决，能绘制一般下井工具示意草图。

第六，具有安全经验，发现事故隐患，抢救和防止井下事故的能力，并及时

① 拘：井盐行业常用字，如，拘水（卤），拘水工（俗称拘水匠）等。拘：古字。《康熙字典》（420页）有此字，同文书局原版。中华书局出版，1958年第1版，1984年第5次印版。





提出对策。

3．七级井务应知和应会

应知（四条）：

第一，熟知钻井、修治、打捞工程及生产井下工具和井口设备的规格，质量负荷标准。

第二，熟知钻井、修治、打捞工程的全部操作和理论知识，并具有指挥、安排和提供施工预算的经验。

第三，正确绘制新旧井地质结构的示意图。

第四，具有建设新井的能力。

应会（四条）：

第一，能准确提出大车、地辊、踩架、天车各部及其他有关井口设备安装的要求，经久耐用。正确掌握开补嗯、打扦子、开槽眼、刮水锈等技术操作。

第二，能全面系统、正确地提出施工预算，并能绘制一般井身结构示意草图。

第三，能正确判断分析气卤及岩层变化或采取的对策，做到安全钻井和生产。

第四，能独立指挥顿钻操作，并在钻治井中，能鉴别各种故障及预防事故的对策。

（三）井管事（相当于今技师职称）

属于八级，是钻井技术工种中最高级别。清代富荣盐场为高级职员。新中国成立后，列为工匠级编制，但名属高级技工。

应知和应会

应知（三条）：

第一，熟知并精通旧法钻治井、打捞工程技术（同时包括各种井下工具及地面井口设备的制作和安装要求、标准鉴定及使用准则）。

第二，熟知生产井的知识，并具有建设新井的业务能力，正确掌握井身的结构（如井位选定、打大口、抽小眼、确定表套管部位等）。

第三，熟知岩层结构部位的变化，正确指导钻进。

应会（五条）：

第一，能有建设新井的丰富经验和实际工作能力。

第二，能正确制定有关修治、打捞工程及新井投产等方案，或井矿发生特殊变化及有关重大技术问题，能正确处理。

第三，能掌握生产井井腔的客观规律，具有预见性，相应提出有效对策，确保正常生产。

第四，能总结钻井、修治井、打捞等的工作经验，不断改进，提高技术水平。

第五，能根据井盐地质，选布新钻井、加深井、起复井的井位。

总的来讲，清代，随着富荣盐场井盐业的繁荣，生产规模的庞大，雇工人数的众多，工种的复杂，分工的细密必须加强生产技术管理。为此，手工工场从上到下建立了严密的生产经营劳动管理机构，在管理机构里，高、中、低级管理人员配备齐全，人才济济，懂业务、善管理，致使工场生产日以继夜地连续进行，有条不紊，井然有序，因而，获得了飞速的发展，富荣盐场也就成为我国著名的



井盐生产基地，名扬四海。

工场主采用物质激励，调动员工的积极性，因而，建立了奖励制度。物质奖励能进一步启发、调动员工的主动性和创造性，这是工场发展、兴旺的源泉。员工有了积极性，可创造出惊人的奇迹来，如，清代富荣盐场最大的一口天然气井——火井王——磨子井，（1850—1855 年）钻凿成功，便是一例。这口气井经过数年的开凿，主人耗尽全部钱财，已到了山穷水尽的地步，井下仍不出天然气，准备仪式散伙了。这时，主人认为，工匠们多年昼夜钻井，也费尽了辛劳，于是，将家中剩下唯一的一副石磨卖掉，售磨的钱，以招待各工匠欢聚一宴。饭后，工匠为了感激主人的“厚道”，大家约同又回到磨子井捣凿了几钻，就打穿气层，突然，大气从井里喷出，直冲云霄。初期日产气量达 100 万立方米左右，当时（约 1855 年），成为我国和世界最大的一口气井。这口大气井，因此取名“磨子井”。

清代，自贡盐场根据工匠技术的高低和职能的大小，对矿山凿井工即关键技术工种的考核和技术等级的划分，其目的有二：一是按级报酬；二是提高凿井工的技术。因科学技术是生产力，钻井工匠技术的提高，也有利于井盐生产力的提高。清代，富荣盐场钻井技术发展和成熟，则是最佳的实证：在钻治工具方面，盐场工匠创造发明了一套完整的钻井、打捞、固井、补腔、淘井等工具群；在钻凿深井技术方面，清道光年间，千米深井相继出现，第一口超千米深井，在富荣盐场钻凿成功，证明当时我国钻井技术走在世界前列；在井盐地质方面，对深井地层的分层、地质构造、卤气储藏的规律，已有明确的认识；在采气卤方面，以竹笕代替钢管输卤、输气。尤其簾盆集输气的发明，其原理科学、技术精湛、经济实用，是世界上独一无二的创造，并且这种采气技术，至今仍有实用价值。

清代井盐生产劳动组织管理，以它独特的组织管理形式，使其井盐生产经营取得了成功，成为我国古代和近代手工工场管理的佼佼者，并在有些方面还比西方资本主义企业管理先行一步[117]。

## 第八节　记载清代井盐史的重要文献
## ——《自流井风物名实说》

四川，一个富饶美丽的地方，古称“天府之国”，地下蕴藏了丰富的卤、气资源，开发历史悠久，因而，四川是我国井盐生产的发祥地。

川省井盐业，历经了长足的发展，至清代达到鼎盛。全川盐井星布，火井甚奇，井架屹立，井盐生产一派繁荣，成为神州大地上一大奇观。由此，有幸来川的文人墨客，或名人高士，或中外游客，莫不忘情惊叹！写下了许多佳作名篇，涉及四川井盐业的著述不少，诸如毕沅的《续资治通鉴》、谈迁的《枣林杂俎》、陈祥裔的《蜀都碎事》、严如煜的《三省边防备览》、贺长龄等编的《皇朝经世文编》、范声山的《花笑庼杂笔》、王培荀的《听雨楼随笔》等。他们在述及井盐业时，突出的共性有两点：其一，不是专门性的井盐业著述，大多内容庞杂；其二，虽著述中涉及井盐业，但记述简略。当然，这不意味着否定这些著述的史料价值。清代，全面、系统、翔实、准确地记述井盐业的专论，则应首推吴鼎立著的《自





流井风物名实说》。清代问世的《名实说》①，对研究四川井盐史产生了巨大的影响，几乎成为井盐史、石油史工作者必读必备之物，具有较大的科技价值和历史价值，因之，它是记载清代井盐史的重要文献。

清代，四川井盐的生产和高度发展，乃是以自流井盐场为代表。《名实说》恰是选择了对自流井盐业的记述，其内容十分丰富，总括起来，主要有三方面：一是盐场井矿工程技术；二是制盐工艺；三是合股经营开凿盐井。现分述于下。

**一、盐场井矿工程技术的实录**

入清之初，全川产盐以川北地区最繁荣。至清中、后期，尤其咸丰、同治年间，四川井盐业的中心由川北盐区转移到川南自流井盐场。这时，自流井（还有贡井）盐场以地下卤、气资源独特的优势，钻治井技术的成熟，市场的开拓，使井盐生产获得了突飞猛进的发展，年产食盐 20 万吨左右，占全川产盐一半以上，成为四川井盐生产的中心，进入其发展史上极盛时期，从而奠定了我国“盐都”的雏形，蜚声中外。

《名实说》作者吴鼎立，号铭斋，河南光州固始县人，清道光末登进士。先后在四川多次做官，就任川北射洪、川南富顺等县县令。射、富地区均为川省三大产场之一。吴县令在四川年久，事行公务，耳闻目睹，对井盐生产颇为了解。清同治六年，重新编纂《富顺县志》，他以县令身份担任了《富顺县志》总编。为此，县令吴鼎立正是在这种背景下，专程到空前繁荣的自流井盐场做考察的，“同治十年夏，立权摄富篆。秋八月，案牍稍清，且恐妨秋获，不事追呼，得以此隙赴自流井。籍览其山川人物，访诸绅商，循名核实，备书于左，用广耳目。”②

他在自流井盐场进行深入、细致的调查之后，撰成了《名实说》。在盐场井矿工程技术方面，则是他在《名实说》中记述的重点。

（一）盐场矿山采区的分布

盐场矿山由东至西，按井矿地段范围，可划分为五个采区——“井之分段五，其名谓之垱。由大小坳口、豆芽湾至半边街、韭菜园、齐家坪，曰桐发垱（即桐发一采区）；由大冲至香炉寺过河，曰龙垱（即龙垱二采区）；由东岳庙桥头至大安、久安二砦，由砦至斜石搭，转至马冲口、高硐、沙鱼坝，曰仙骡垱，俗名新垱（即仙骡三采区，或名新三垱采区）；由主庙、内柴口至大湾井，曰长发垱（即长发四采区）；隔岸里许踞小溪场者，曰邱发垱（即邱发五采区）。邱垱尤近西，与荣厂毗连。”五大采区面积约 40 平方千米。《名实说》特别对我国井盐史上著名的古盐井——自流井的发源地做了确切的考证和记载，指出其遗址在“新桥下，下桥上，名为火井沱。河岸有自流盐水，故曰自流”。

（二）关于凿治井器具的描述

《名实说》对各种凿法治井器具的造形、结构、功能等做了详尽的描述：“平地开井用锉，上锐中阔，其末斜而宽，谓之鱼尾锉。长柄大末如银锭（形似古代通币‘元宝’而得名），谓之太平锉，太平锉重百余斤，长一丈二尺。鱼尾锉重倍

---

① 《自流井风物名实说》以下简称《名实说》。

② 吴鼎立著《自流井风物名实说》，凡下引文未注者，出处均于此。



之，长一丈。”又云：“锉之名不一，有大锉、银锭锉、财神锉、马蹄锉。有一皮草、四楞子、霸王鞭、列子、松虬子、萝布头、二水列子、三水列子。有半边马蹄、半边银锭者，名为垫根子。”对于井内落物及打捞器具有：“井中落筒、锉者，用双瓦口；并落索、篾者，用单瓦口，皆长九尺，重百斤；筒、索并落者，用连环提须；筒、篾并落者，用月亮提须；井筒、锉、索、篾俱落者，用以上各器轮流取之。”同时，对于工匠修治的精湛技艺和奥妙神奇，也做了精僻的论述：“此皆可以意会，不可言传。随其所落（井内）之物，思有以疗其病而制为器具。非天下之至巧，不足以语于斯。”“诸器皆以铁为之，惟神而明之，化而裁之，变而通之，其器不一，其名不一，其形难载。”

据统计，《名实说》中所提到的各种类型的凿治器具，分十大类50余种，超过了清代任何史籍上记载的器具种数。

（三）搗碓凿井方法

据《名实说》记载：凿井先须定地势，然后挖大口，下石圈。接着搗碓，锉大口。所谓搗碓：“即置花滚子、踩架，中用一坚实之木以称大锉，谓之碓板（即一种杠杆原理），人即在踩架上跳来跳去，谓之搗锉，又谓之搗碓。新井则以二人在碓上，以一人在井口转锉。深井则以三人或四人在碓上，仍以一人井口转锉，若不时刻转之，其井不圆，或偏或弯，即成病井，均系昼夜轮班分搗。”大口锉完，即下木柱封隔地表淡水。再吊锉下搗凿小眼，至井见功矣。至于在凿井过程中，如遇井病，如“走岩、崩腔、油灰作丸，以弥缝其阙，无不应者”。“山匠之巧者，腔正井利。”

（四）关于自流井构造地下富饶的卤水及天然气资源

《名实说》述道：“各火其火，水其水。烹饪、灯烛、炉炭皆资井之气为之，其利溥矣哉，盖亦有天意存乎其间焉。”又云：火有大小之别，浅井小火，可烧锅“十余口”；深井之大火，火势强旺，“可以供数百口灶之用”；最大的火井，初期日产气高达100万立方米。李榕《自流井记》亦说：德成井的火“可烧锅五百余口，（卤）水自井口喷出，高可三四丈，昼夜可积千余担。”足见，自流井构造地下气、卤资源蕴藏之丰盛，产量之大，开采时间之长（至少开采1 400多年），为国内外罕见。

（五）采卤方式

《名实说》做了翔实、详尽的记述：“汲水谓之推。用索子盘地车上，由胎滚上面，复由地滚下穿过，直达（井架）天滚上，系筒放井内取水。其筒以坚韧斑竹或楠竹，除皮而削中。除皮欲其轻，削中欲其通。筒之颠有铁挺焉（加重），所以使之坠。筒之底有牛皮钱焉，半翕半张。方放下时，水激钱张，水盈筒内，车上一推，水由筒内下坠，而钱之张者亦翕矣。推出井口，以铁钩顶开皮钱，水直注木盆，谓之地楻桶……全井之水均停止内，以备用。”清代盐井汲水是用牛或人作动力：“井浅则用三牛，井深则用四牛，井深水多则用五牛，无牛者以人推之。邱垱井浅，多黄水，可用人力。四垱多黑水而井深，人力不及牛力。”

吴鼎立在《名实说》中，关于盐场井矿工工程技术方面，对矿山采区的分布，凿治器具，搗碓凿井程序，自流井地区卤、气资源的丰盛及采卤方式，做了翔实

的记录，是不可多得的宝贵史籍。

## 二、《烧盐法》

### ——制盐工艺的简明记载

吴鼎立在《名实说》及其附《烧盐法》，即对灶上制盐工艺也做了简明的记述。它是将矿山采汲的卤水，以竹笕输卤上灶，然后用燃能蒸发加工成产品——食盐。因此，他在考察中，看到盐场上安置的输卤笕管纵横交错，于是，便形象、生动地述道：竹笕“横斜左右，望之如雁字一行，井水注灶，无为而成”。可见，制盐属于井盐生产的一个组成部分。

烧盐，盐场俗称煮盐、煎盐、熬盐。今名制盐。这如实地反映了蒸发制盐工艺的特点。由于制盐工艺、燃能的区别，故《烧盐法》皆不同，食盐分为火花盐、炭花盐及巴盐（又称块盐）三种①。前二者制盐工艺基本相同，故吴鼎立写道：“此自流井火烧花盐之法”与“炭灶烧盐仿此”。后者与前二者有别。现以花盐熬制工艺及巴盐熬制工艺分述于下。

（一）花盐熬制工艺

火花盐即以天然气加热熬制成的盐，盐质雪白、粒匀、坚硬、味美，深受广大民众欢迎。因此，清代后期，自流井构造由于天然气大量的开采，火灶制盐工艺已普遍推广。其制盐工艺为：

第一，兑水（又名配水）。因卤水咸淡不均，黄卤含量盐低，一般为100～150克/升，为此，黄、黑卤混合制盐，可提高卤水咸量，从而提高制盐产量和盐质，降低能耗。当时，按兑水规定，“以黄水十之六，配黑水十之四，合贮木桶内”，即黄、黑卤为6∶4，或8∶2配水。

第二，安置锅口（俗称吊锅上灶）。“灶上安置千斤重铁盐锅，四边用枕枕平，约高六寸，绕以土砖，高等锅弦。上用盐水泥并盐泡、炭灰，踩溶扶抹六七寸高，先以火烘圈子，令干。”锅口沿周加“六七寸高”的卤边，即可增大锅里的容卤量，有利于提高盐产。

第三，放卤入锅。黄、黑卤水配好，“由竹笕运水至锅，其水不得过锅牙，过则渗漏。”

第四，加热蒸发。加热“俟水烧咸，生有细盐，谓之渣，陆续下生水。如渣末，下水亦漏。俟水碾齐，始下老水二勺，撮去涎泡（即锅里水面上的悬浮物）”。熬盐从放卤水入锅至起盐的全过程，均需加热蒸发浓缩卤水，使其结晶成盐。不过，在这个过程中，加热有大火和小火即火力强弱之分。

第五，下母子盐（俗称渣盐）。母子盐实为盐晶种，加入煎锅内，其目的是促使盐卤迅速结晶成盐。但加入晶种要适量，一般“渣盐三勺半”，或“渣盐两勺许”[87]即可。

第六，下豆浆。当煎锅内卤水蒸发浓缩，开始出现盐花时，即下豆浆。豆浆

---

① 火花盐，即卤水用天然气加热蒸发成的盐。炭花盐，即卤水用煤炭加热蒸发成的盐。二者用的燃能不同，但制盐工艺基本相同。巴盐既可以用天然气，也可以用煤炭加热蒸发成盐，但制盐工艺有别于前二者。



有胶结作用，可吸附卤水中析出的杂质，其目的是“提清化净”，以提高盐的纯度。这种方法，乃是制盐工艺的一项重大改进。

第七，起盐（又称铲盐）。煎锅里卤水蒸发浓缩结晶成盐，小火徐徐吊干，便开始起盐，即“外安石一，上胎木杠二”。又其上置盐篓，其盐起存篓内，谓之起盐。

第八，淋盐（又称淋花水，今称洗盐）。锅中放生水烧咸，仍用豆浆提清化净，是为花水，即以花水淋洗所起篓内之盐，要求淋够、淋透，淘去盐中的䶑质，“盐乃雪白匀净”符合食用规定标准。

火灶制盐从兑水→置煎锅→放卤入锅→加热蒸发→下母子晶种→下豆浆→起盐→淋盐，已形成了一套完整的制盐工艺。尤其下豆浆，加晶盐种，这是制盐工艺的重大改进，符合现代化学原理。

（二）巴盐熬制工艺

吴鼎立在《名实说》及其附《烧盐法》中，对巴盐熬制工艺，亦做了简洁的记载：“其以黄、黑二水兑一两七八咸头，贮木桶内。于灶上安置盐锅，四边用枕枕平，约五寸高。环以卤边，外用土砖堆砌，高与卤边等，圆亦如之。腰枕其中，使通火气，隆隆然直上。其土砖隙处，用盐水泥并盐泡、炭灰，踏溶扶抹，至扶卤边缝口。外则用盐泡子泥，内则用渣盐，并将脚根砌稳。拨火烘干圈子，即放生盐水洗渣，渣洗净，陆续放生水起煎。水放至半，再查锅内有渣与否，无则放渣保着圈子。俟水碾满，烧至次日辰刻，即以豆浆将水提清。又烧至半夜，短水，烧两昼夜。起盐则设一空锅贮之，然后泡䶑。此自流井井火烧花锅巴盐。”这段文叙可将巴盐熬制工序归纳为：

第一，兑水。“黄、黑二水兑一两七八咸头。”即按“黑水三成，黄水七成”[87]比例配兑。

第二，镶锅砌卤边。这与熬花盐用锅相异。熬花盐用的千斤圆锅，且全锅是一个整体。而熬巴盐则是由数大块铸铁镶拼而成的，故名“镶锅”。环周用薄铁块镶卤边，外用土砖堆砌，高与卤边等，再以盐泥、炭灰混合抹其隙，内则用渣盐，拨火烘干灶圈，使其稳固。

第三，洗渣。即“先将母盐渣本于锅内掺匀，曰‘洗渣’”[87]。接着缓缓放生水入锅熬盐，至锅容满，但不溢出为准。

第四，熬干成巴盐。视火力大小，熬干一锅卤水制成一锅巴盐，需两昼夜至四五昼夜不等。巴盐原“四五寸，大径四尺，重可五百斤”[87]。

第五，泡䶑。巴盐起到另一空盐锅贮之，然后用花水（提清化净的卤水，与花盐淋花水含意同）浸泡，除掉巴盐中的䶑质。

根据巴盐的色泽，主要分白巴盐和黑巴盐两种。前者是卤水在成盐过程中，渗入豆浆提清化净，去掉了卤水分离出的杂质，因此，盐色白，取名白巴盐。后者熬制工序与白巴盐法相仿，“只是不提去面子”即不下豆浆，含杂质重，其色黑，曰黑巴盐。

由上可知，以镶锅熬制巴盐，工序繁琐，成盐时间太长，盐质低，工效低，而且盐硬如石，食用时需得捣碎，极不方便。这比熬花盐先进的工艺陈旧落后。

## 三、合股经营开凿盐井的珍贵文献

开凿盐井，一是需要占用大量的土地；二是需要巨额的资金，二者是办井的前提，缺一不可。在自流井盐场，大小盐商数百家，既有雄厚的资本，又有建井的土地，能独资办井者，却是凤毛麟角。其他大多办井是采用“凑资朋充”，即资本拥有而无土地者，与土地占有又匮乏货币者，这两种人携手合作，合伙办井，各占股份，取长补短，共谋发展。在一般情况下，投资人（称客人）和地主以租佃与合股的方式办井，故有“年限井”和“子孙井”之分。这两种办井方式，盐场一直被奉为圭臬。

### （一）“年限井”和“子孙井”约规——主客合股办井的两种形式

为便于了解“年限井”“子孙井”的内容，据《名实说》及其附《桐、龙、新、长四垱①地主与客人所做客井、子孙井、三十斑井规》，现摘要引证于下。

先说“年限井”（客井）：“其井作为三十股生意，照每月三十天分派。初立佃约时，主客议明，……所佃井基，地主出井眼、天地二车、柜、灶、牛棚、盐仓，一切基址，每月得地脉日分或四、五、六、七天不等。客出锉井一切费用，每月得客日分二十二、三、四天不等。承首邀伙之人（中介人），或在客日分内，或地脉日分内，各拔一天，或共拔一天，不出工本锉捣，谓之干日分。其全井年限，方锉井时与见微功时，俱不起班。俟井见功，水足四口，大约八拾担，火足二十余口，始行分班，起限推煎。或十二年，十六年，二十年，限满，全井交还地主，此客井（年限井）情形也。”

次说“子孙井”：“其子孙井押山银钱、地脉日分、客日分、干日分，均与客井相同。唯井见功，不必水足四口、火二十余口分班之规。只要本井所出之息除缴纳井有余，地主即照地脉日分派分利息。但既经进伙以后，如此井捣锉下脉及修造廊厂一切，俱归三十班出钱。主客均系子孙永远管业，并无限满归还地主之说。此子孙（井）业情形也。”

《邱垱小溪②地主与客人二十四子孙井规》：“立佃约时，每井议明押山银钱，将三十日作为锅分二十四口，即二十四股生意也。地主出井眼、廊厂一切基址，得地脉锅分三四口。客人出资捣锉，成功得开锅十八口，浮锅二三口。开锅者，出钱做井分息之股份也。浮锅者，出力办事、承首邀伙之人所得，此只出力不出钱而分红息之股分也。井成功时将廊厂修成，一切费用推足，地主始得进伙。概系子孙基业，并无年满交还之说。”

简言之，所谓“年限井”（又称客井），即系盐井或气井开办成功后，按签约议定，投资人经营及其收益有一定的年限（12年至20年不等），期满后，则将盐井或气井及其有关生产设施全部交还地主经营，“客来起高楼，客去主人收”[118]，即此含意。所以，这种盐井（包括气井）称之“年限井”。所谓“子孙井”，即是盐井钻凿见功后，不存在一定的年限产权归还，由投资人与地主共同长期享有，其“子孙永远管业”。如以后管业的子孙将其产权转让或出售，则不属此约规。

---

① 桐（发垱）、龙（垱）、新（垱）、长（发垱）四垱，系指清代富荣东场，即自井场区。

② 邱垱小溪，系清代富荣西场，也即贡井场区。



清代，富荣盐场在井盐生产尤其是在盐井开办过程中，出现了“年限井”和“子孙井”两种主要经营形式。这两种形式，也反映了井盐业发展史的两个阶段：其一，在清道光以前，以“年限井”为代表的经营形式占据主导地位；其二，随着钻井技术的发展和完善，井深的增加，投资者所合出的资本数额持续上升，改变了原股份结构中投资者与地主分占的比率，从而决定了地主权益的相对下降，这标志着由“子孙井”逐渐取代了“年限井”的地位。这些重大的变化，是社会的进步和生产力不断提高的必然结果[119]。

（二）《上中下节井规》——凿井资本不足的增补办法

盐井开凿艰难，钻井工期长，耗资巨大。如钻成千米井深，一般要“四五年或十余年”完井，也有“数十年更数姓而见功者”[21]。因此，这就要求持续不断地增加投资，所需资本成倍地增加，乃数倍地加大膨胀，“往往数十家之力，鬻产借债，始成一井。”[104]于是，自流井盐场，盐商们独创了做“上中下节”的办法，源源不断地扩大资金的来源，从而满足了凿井工程的急需。当然，所谓“上中下节”做井办法，也是“年限井”和“子孙井”凿井的必要补充及完善。其基本内容为：

1. 做上下节及分计红息

凿“井久不见功，抑或仅见微功，尚须下捣锉，有力不能逗钱者，即将所占日分锅分出顶与人，即名为上节，承顶人即名为下节。以后做井工本，归下节派出。或将钱绝顶，日后此井成功，上节不得分息。如未绝顶，上节工本未经收回，日后井成功时，上节有仅归工本若干者；有与下节人各分一半红息者；有上节仅分二三成者，下节多分至七八成者。盖上节捣井浅，费本无多，即少分红息；下节捣井深，费本甚巨，即多分红息”。

2. 做中下节及分计红息

“如井久不见功，下节力又不支，转顶与人接力，则前比之下节作为中节，现在出钱锉井人为下节。井成时，中节亦有归工本若干者，或共分红息者，或同井俱无力前锉，二十四天十八口概行出顶与人做下节，提留上节工本日分，或一半，或数天，或数口，上节人等所得提回日分，仍与前伙照二十四天十八口分派红息。其井若合伙人多，则力每不齐，辗转出顶，上中下节不一而足。兼之年久则人愈多而难清理，其已经出顶井分之合同则为故纸。”

吴鼎立以渊博的知识和敏锐的洞察力，发现和记载了自流井盐扬“年限井”和“子孙井”两种经营形式，主客双方以股权和收益，按照30天日分计分红利，或以24口锅分计分红利。同时，由于盐井开凿工期长，耗资甚巨，往往在凿井过程中，股伙垫付资金不足，而影响到凿井工程的顺利进行。所以，股东们创造性地采用了股权辗转的出顶，层层接替做上中下节的办法，扩大了新的资金来源，弥补了资金的匮乏，从而促进了盐井的凿成。所以，清代自流井盐业的大发展，进入了鼎盛时期，这与“年限井”和“子孙井”以及做上中下节合伙经营密切相关。同时，清代富荣（今自贡）盐场，创造的合股出资办井方式，对当今企业实行的“股份制”形式，都有借鉴和参考意义。

总的来讲，《名实说》对以自流井盐场为代表的中国井盐生产技术做了完整





的、科学的、详尽的记载，内容极其丰富，既有井矿技术，又有熬盐生产，还有合股凿井经营管理，因而，具有重要的科技价值和历史价值，文献太珍贵了。正因如此，历来备受我国井盐史、石油史、经济史等专家、学者所推崇。为此，我们认为，《名实说》理应列入我国史学名著之林，为不朽之作。

## 第九节 杰出的钻井和地质师——颜蕴山

颜蕴山曾是一位普通的农家子弟，没有进过专业学校，但他以盐场实践为课堂，苦钻多年，自学成才，精通钻治井技术，开创了先进的采卤工艺，并具有丰富的井盐地质知识，成为富荣盐场和我国井盐发展史上最著名的匠师和高级管理人才，人称“一代宗师”。

### 一、盐场学艺

颜蕴山（1826—1899），系清代富荣盐场大盐商颜昌英之胞侄。家住四川威远八孤山乡下，与盐场毗连。童年和少年时代，经常到自流井盐场玩耍，看到繁荣的盐场钻井、采卤、熬盐生产，觉得十分新奇，并深深地吸引着他，于是，便产生了立志学习井盐钻采工艺技术的萌芽。尤其目睹叔父颜昌英以凿井烧灶成为巨富，对其影响颇大。他说：颜桂馨堂已经靠盐业发家致富，而我的祖辈颜经武堂尚未致富，决心白手兴家，自力创业[29]。

成年后，他到自流井颜昌英工场学习凿井技术。颜氏家族开办的盐井及火井遍布富荣东西两场，前后共有水火井“140 多眼”[29]，从而为颜蕴山学习钻采工艺提供了良机和广阔的场地。据说，他先后在永兴井、永龙井、自成井、沧海井、龙海井、三阳井等多眼井学习钻井技术。在现场实践学习中，遵循学艺三字经：“看、干、问。”所谓“看”，即看碓工、山匠、管事是怎样作业的；“干”，即由易到难，亲自在各个岗位上去实际进行操作；“问”，即凡则疑难问题，定要问个清楚明白，打破砂锅问到底，“最爱和山匠、管事等技工摆谈。”[29]他天资聪颖，见解高超，同时勤学苦练，精益求精，独得心传，学到了井上“开、砍、叼、扎”一手绝艺。开办新井，从地面设施的布局，到井下凿井技术，也得心应手。人赞“蕴山的技艺远远超过他的同龄同行人”，在盐场传为佳话。这时，颜桂馨堂已发展成为盐商巨富，名列富荣盐场“四大财团”之一。颜昌英本想继续留他共事，但他婉言谢绝说，颜桂馨堂已发家致富，人才济济，我在此作用不大[29]。在颜昌英的赞许下，决心另谋前程。清咸丰、同治年间，颜蕴山受聘于富荣盐场首屈一指的盐业家族王三畏堂的高级职员，曾出任扇子坝 18 眼井总坐办。

### 二、精通钻治井技术

颜蕴山精通钻井和治井技术，因其钻治井技术超人，被推为盐场首席井管事。

他钻治井技术独到，创立地面钻井实验室，指导井下钻探工程。清代前期至中期，富荣盐场的山匠和管事，凭其丰富的实践经验，一般钻井浅，井径小，或处理井下故障，尚能发挥积极的作用，取得显著的成效。但到了清代后期，盐场千米深井大量地出现，这时，伴随井深的增加，地下岩层钻探的复杂，于是，钻



治井工程难度加大，井内事故层出不穷，管事、山匠仅凭着实用经验，在复杂的钻井面就显得束手无策，无能为力了。此时，颜蕴山苦研井盐钻治井工艺技术，具有坚韧不拔的毅力。为解决井盐钻治井诸多的疑难问题，他独创了地面钻井实验室。每当遇到井下重大问题，他即用黏泥、木质等简易材质，制作各种工具模型，研究改变工具的形制、结构及性能。他深入现场实际，经常与山匠和管事分析、研讨井内各种情况，凡他管辖的盐井及火井了如指掌，并根据不同的井情和各种井下故障，革新和改进工具的形状和部件，同时，向工匠授其用法，能准确及时地用于井下作业，解除井下故障，达到了得心应手的程度[120]。颜蕴山创立钻井实验室，以地面模拟实验的成果，指导和用于井下钻治工程，由“经验型”向“理论型”的发展，乃是井盐钻井工艺技术一个巨大的进步。

他一生创造和改进了许多钻井、固井、打捞、治井等工具，如盐场有名的打捞井内落锉的工具“活偏尖”[27]，就是他以“死偏尖”改进而成的。改进后的“活偏尖”更加灵活善用，能有效地捞取（俗称“啃住”）掉入井内的钻杆。如遇井下钻具被岩砂等物卡住很紧，捞取不动时，便能自动解脱自救，乃是一种“既能攻、又能退的工具”，故名“活偏尖”，人称打捞之“王”。这种打捞工具，在清代盐场普遍推广应用，且至今有的盐厂仍在运用，极大地提高了解除井下落物的功效。每当盐井发现落物事故或出现井病时，颜蕴山便端坐井旁，日以继夜，从容指挥“包取滥井”，常能迅速排除井内故障，及时恢复盐井正常作业。

**三、杰出的井矿地质师**

清代，钻井工程及地质工作，均系井管事负责。通常新钻井或加深井，先由井管选定井位，然后仍由他全权指挥将井钻成。为此，井管事不仅是钻井工程师，而且也是井矿地质师。颜蕴山即是盐场井矿地质师中一位杰出的代表。

颜蕴山年轻时步入盐场学艺，在业务工作上，虚心学习前辈传授的凿井技术和地质知识，加之，他在长期的生产实践中，积累了丰富的经验，因而，成为冠于盐场的井矿地质师。

1850年后，扇子坝（又名大冲头）、大坟堡、杨家冲等地，已是王三畏堂、宝兴隆王向云、颜桂馨堂等诸姓生产黑卤的基地。而扇子坝是当时王三畏堂王朗云管辖的产业。颜蕴山根据这些地区盐井生产情况，又结合钻井资料，综合分析后，确定地下卤水资源盈枯的变化，从而寻求卤源富集区，选定井位。如他提出：扇子坝一带地下有“断岩”（即今称“断层”），岩石“裂缝多”，底层蕴藏有黑卤（上层已经开采，卤水近于枯竭）。于是，便在此区先后布置钻井两口，均获得成功。

（一）加深三生井

该井于清道光年间（1821—1850年），由陕西商人租佃王三畏堂的地基钻成的盐井。井深约220井丈（折计792米），见功，生产黑卤，但产量一直很低。陕商





租佃年限期满后交还王三畏堂。约1860年①，颜蕴山深入地分析了该井的地质情况，认为井内深部埋藏有较丰富的黑卤，于是提出加深三生井，开发深层黑卤的方案，并得到雇主王朗云的赞同。盐商王朗云利用天一井生产所获得的利润，投入开发三生井，当加深至270井丈（折合972米）② 时，主产黑卤层被凿穿，卤源极为丰富，且卤水自喷出井口，如潮水般地冲溢出来，冲高达十余米。灶上利用"卤水自喷"，就地铺石筑槽，引卤入桶，备用煎盐。同时，黑卤含盐量很高，每碗咸量达到三两三钱（折约292克/升），谓之头等咸。自此，王三畏堂家业振兴。

（二）新钻生财井

1870年左右，盐商王朗云与井管事颜蕴山商议，决定在扇子坝新钻生财井，希望能生产黑卤。但此井凿至230井丈（折合828米）不见功。这时，王朗云灰心地对颜蕴山讲，生财井地下的卤水没有望了，停钻不干了。但颜蕴山对该井再经过深入的研究，反复地思考，认定该井黑卤还有希望，于是，继续下锉，至296井丈（折合1 065米），喜见黑卤。王朗云亲临井上看到卤源甚丰，咸量又高，兴高采烈地夸道："算你（指蕴山）办成功！"[29] 由此说明，井管事颜蕴山在盐场钻井和生产实践中，娴熟地掌握了井矿地质情况，做出合乎科学的推断，认为扇子坝地下有"断岩"，岩层"裂缝多"，蕴藏有黑卤的观点，是符合现代地质科学的原理的。经现代地质研究证实：此区属于自流井构造轴部地带，深部有隐伏的东南翼地下断层切割，造成了岩石破碎，即岩石裂缝十分发育，在岩石裂缝里储集了较丰富的黑卤水，属于卤水富集区，因而新钻生财井又获成功。

**四、开创"深井浅推"法**

生财井见功，盐商王朗云既喜又忧。喜则盐井钻成，黑卤咸重量丰，能创巨大的经济效益；忧则井深上千米，采卤以牛作动力，每班深井推水多则用五牛，昼夜连续生产，需牛20～30头，还要工人跟牛后驱赶。同时，耗用大量筒索，采卤成本要大幅度提高，经济上不划算，那么，用何种方法开采？

颜蕴山在钻井过程中，对井里的产卤层位、卤水咸量、产量，以及水柱（俗称"液面"）高度等，已经了解得一清二楚。并通过液柱测试，虽井深为296井丈（折计1 065米），但黑卤液柱高度，不在井底，也不在井口，而是由于地层压力的作用，将水柱从井底升高至井深190井丈（684米）左右③，相当于一般浅井推水的位置。于是，汲筒即可在井内约190井丈（684米）位置采汲卤水，谓之"深井

---

① 关于三生井加深年代说法不一。罗筱元《自流井王三畏堂兴亡纪要》文中说："约自道光末叶至咸丰年间（1850～1860年）十余年中"，三生、金海等井陆续见功，产黑卤甚丰，而且咸量达到每碗三两三钱（折292克/升）以上，谓之头等咸，且自动喷水，而时间又特别长。又，李良忠编著《中国自贡井》认为三生井是"道光三十年（1850年）"开成功的。另，自贡市盐务管理局编《自贡市盐业志》"人物篇·颜蕴山"记载：三生井加深于"1878年"凿成，喷水达一年之久，至1880年自喷停止。由此可见"三生井加深年代，一是1850～1860年；二是1850；三是1878年。作者认为：三生井加深约1860年较为适宜。

② 一井丈＝3.6米计。自贡盐商开办盐井，为了保密，自行确定井尺，所以每一眼井的尺度都不一样，一般偏大。

③ 颜献琪等撰文《颜桂馨堂与自流井》云：生财井"见黑卤既浓又多，（从井底）上涌一百多井丈，汲筒从（井口下）一百九十井丈就汲满起推，卤水平面再未下退"。可见，地面井口之下，"一百九十井丈"（折684米）的位置，为汲筒推水的井深，即为浅推的位置。



浅推”法。于是，盈利丰厚，利润倍增。

此法的开创，在自流井盐场不胫而走，凡井深水多者，纷纷效法采用。从而为井盐生产创造了巨大的财富，作出了重大的贡献。

颜蕴山因其身矮、须长、排行在三，故人又称名“颜蕴三”，外号“颜三土地”。他一生勤学苦练，技艺高超，精湛超群，在我国井盐史上，其钻治井技术、井矿地质、采卤工艺诸方面有许多创造和改进，为推动和发展井盐生产起了积极的作用。他去世后，盐场井管事、山匠们，为尊崇其独到精巧之技术，专供奉“颜蕴三香位”的木牌于井口之侧，以尊崇敬仰怀念。足见，“颜蕴山确实自贡盐场井盐技术的杰出人物，在他身上体现了历代盐工的聪明智慧和首创精神。”[120]




# 参考文献

[1]（清）王守基：《盐法议略》“四川盐法议略”（第五四页），清同治版本。
[2] 陈文安：《川盐济楚始末》，刊《井盐史通讯》，1981 年（总第 8 期）。
[3]（清）《乾隆任邱县志》卷一一。
[4]《汉书》卷二四（下）“食货志”，引王莽《诏书》。
[5]（嘉庆）《两淮盐法志》卷首。
[6]《皇朝经世文编》卷五〇“户政”。
[7] 李世平：《四川人口史》，第六章“明、清的四川人口”，四川大学出版社，1987 年。
[8]《明史·地理志》；另见上（本章）[7] 参考文献。
[9]《清通考》卷一九。
[10] 雍正《四川通考》卷五。
[11]《清通考》卷二。
[12] 巡按四川兼管盐法屯田御史赵班玺奏请：“清代档案”，顺治六年六月初二。
[13] 彭泽益：《清代前期手工业的发展》，刊《中国史研究》，1981 年第 1 期；又见（清同治）《南部县志》卷六。
[14] 巡按四川兼管盐法屯田御史张所志奏请：“清代档案”，顺治十七年正月初三。
[15]《皇朝经世文编》卷五〇。
[16] 吴炜等：《四川盐政史》卷一。
[17] 周 询：《蜀海丛说》（下）（第 29 页）。
[18] 李培浩：《中国古代史纲》（下），北京大学出版社，1985 年。
[19] 丁宝桢主编：《四川盐法志》卷二〇。
[20]（嘉庆）《四川通讯》卷六八“食货·盐法”；又见上（本章）[12] 参考文献。
[21]（清）李榕：《自流井记》。
[22] 罗成基：《陕商在自贡盐厂的起落》，载彭泽益等编：《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991 年。
[23] 吕平登：《四川农村经济》（第 449 页）。
[24] 见“西秦会馆·关圣帝庙碑记”（现存）。
[25] 李芝作：《盐井赋》（乾隆四十二年《富顺县志》收录），彭久松圈点，刊《井盐史通讯》，1977 年第 2 期。
[26]（清）严如煜：《三省边防备览》卷十。
[27] 罗筱元：《自流井王三畏堂兴亡纪要》，刊《自贡文史资料选辑》第一辑。



[28] 黄植青等口述，胡善权等撰文：《自流井李四友堂由发轫到衰亡》，载《自贡文史资料选辑》第七辑。
[29] 颜献琪等：《颜桂馨堂与自流井》，刊《盐业史研究》，1990 年第 3 期。
[30] 胡少权：《贡井胡元和的兴起与衰落》，刊《自贡文史资料选辑》第十二辑。
[31] 张端甫：《犍乐地区首屈一指的大盐商——吴景让堂》，刊《井盐史通讯》，1979 年第 1 期、1980 年第 1 期及 1981 年总第 8 期（连刊）。
[32]《清盐法志》卷二五三。
[33]《四川盐法志》卷七。
[34]《清世祖实录》卷五四（雍正五年）。
[35]《清文献通考》卷二九；另，嘉庆《两浙盐法志》卷首。
[36]《四川盐法志》卷二二。
[37]《清世祖实录》卷三一。
[38]《清世祖实录》卷三四。
[39]《清通考》卷二八。
[40]《清盐法志》卷二五九。
[41]（嘉庆）《犍为县志》卷四。
[42]（嘉庆）《四川通志》卷六八。
[43] 王方中：《清代前期的盐法、盐商与盐业生产》，载陈然、谢奇筹、邱明达编：《中国盐业史论丛》，中国社会科学出版社，1987 年。
[44] 丁宝桢：《四川盐法志》卷二六。
[45]《明神宗实录》卷三六一（万历二十九年七月）。
[46] 钟长永、黄健、林建宇编著：《中国自贡盐》，四川人民出版社，1993 年。
[47] 凌耀伦著：《论清代自贡盐业资本主义手工工场的发展》，载《中国盐业史论丛》，中国社会科学出版社，1987 年。
[48]《四川盐法志》卷一七“引票二”。
[49] 牛雪樵：《省斋全集》卷一。
[50] 谢勷：《三台县志》卷一二。
[51] 张肖梅：《四川经济参考资料》第四卷（第 86 页）。
[52] 宋良曦：《自贡地区的钱庄、票号与盐业发展》，载《盐业史研究》，1994 年第 2 期。
[53] 彭泽益：《中国近代手工业史资料》第一卷。
[54] 盐博馆藏清代富荣（自贡）盐场契约连载（一）“契约第一号”，刊《井盐史通讯》，1979 年第 1 期。
[55] 馆藏清代富荣盐场契约连载（一）“第七号”，刊载日期，同上［54］文献。
[56] 馆藏清代富荣盐场契约连载（一）“第九号”，刊载日期，同上［54］文献。






［57］彭泽益：《自贡盐业发展及井灶经营特点——自贡盐业契约档案选辑》代序。载《井盐史通讯》，1984 年第 1 期。

［58］馆藏清代富荣盐场契约连载（一）“第 6 号”，刊载日期，同上［54］文献。

［59］陈福崇：《自贡个体盐民生产经营管理综述》，载《盐业史研究》，1991 第 4 期。

［60］列宁：《俄国资本主义的发展》（第 289、314 页）。

［61］《马克思、恩格斯全集》第二三卷（第 358 页）。

［62］吉润卿口述，聂无放撰文：《贡井盐厂发展一瞥》，载《自贡文史资料选辑》，第五辑。

［63］王怀周：《我在自贡经营小井小灶实况记述》，载《自贡文史资料选辑》，第十二辑。

［64］《四川盐政史》卷三。

［65］《四川盐法志》卷一二。

［66］（清光绪）《大宁县志》卷一。

［67］《列宁全集》第三卷（第 523 页）。

［68］杜凌云等：《四川自流井盐税的掠夺战》，载《自贡文史资料选辑》，第五辑。

［69］《颜庄穆词族谱》卷八。

［70］刘锦藻：《清续文献通考》卷三七。

［71］吴承明撰：《中国资本主义发展述略》，载《中华学术论文集》，中华书局，1981 年；又，同作者写：《关于中国资本主义萌芽的几个问题》，刊《文史哲》，1981 年第 1 期。

［72］（清）吴鼎立：《自流井风物名实说》。

［73］（清）丁宝桢主编：《四川盐法志》卷三“器具图说”。

［74］（清）《蓬溪续志》卷一。

［75］（明）宋应星：《天工开物·冶炼》。

［76］熊佐周等：《自贡盐场锉井及治井技术》，食品工业出版社，1957 年。

［77］自贡盐业历史博物馆文物藏品：YS20 号。

［78］《四川盐政史》卷二“凿井之器具”。

［79］河北革命委员会水利局机井组编：《机井技术》，第二章（竹弓或木弓弹力）“人工架打井”，河北人民出版社，1973 年。

［80］见上（本章）［72］、［73］参考文献。

［81］钟杰：《取难》，载《井盐史通讯》，1982 年第 1 期；另见上（本章）［76］参考文献。

［82］刘德林、周志征著：《中国古代井盐工具研究》，山东科学技术出版社，1990 年。

［83］颜博文：《自贡：盐都技术博物馆》，载联合国教科文组织：《博物馆》刊物，1980 年第 4 期。



[84] 刘广志主编：《中国钻探科学技术史》，地质出版社，1998 年。
[85] 荆三林：《中国生产工具发展史》，中国展望出版社，1986 年。
[86] 马仿波回忆，王柔德整理：《自贡盐场的木材业》，刊《自贡文史资料选辑》第十辑。
[87]（清）《四川盐法志》卷二。
[88] 谭旦冏著：《中华民间工艺图说》，台湾中华丛书委员会出版，1956 年。
[89] 吴泽霖：《旧法凿井》，刊《井盐史通讯》，1983 年第 10 期。
[90] 龚巧玲《补腔》，刊《井盐史通讯》，1979 年第 1 期；另见上（本章）[76] 参考文献。
[91] 贡井盐厂："东源井岩口簿"。
[92] 见上（本章）[76]、[87] 参考文献。
[93]《富顺县志》卷三（清乾隆四十二年版本）。
[94]《四川盐法志》卷首。
[95]（清）陈梦雷等原编，蒋廷锡等重编：《古今图书集成》卷六九二。
[96] 据《清盐法志》卷二四四统计。
[97] 据《清盐法志》卷五统计。
[98] 陆文祖：《盐井歌》，载（嘉庆）《井研县志》卷十"艺文"。
[99]《蜀故》卷三"盐政"。
[100]（清光绪）《射洪县志》卷首。
[101] 严如煜：《三省边防备览》卷九。
[102] 嘉庆《犍为县志》卷四。
[103]《四川盐法志》卷十。
[104]《四川盐法志》卷一一。
[105] 张学君、冉光荣：《明清四川井盐史稿》（第 89 页），四川人民出版社，1984 年。
[106]《四川盐法志》卷一三。
[107]《清盐法志》卷三五九。
[108] 据上（本章）[97] 参考文献及民国《富顺县志》卷五统计。
[109] 罗筱元等：《自贡盐场的牛》，刊《自贡文史资料选辑》第十二辑。
[110]（清）范声山：《花笑庼杂笔》卷一。
[111] 周志征、刘德林：《自流井形成新探》，载《四川文物》季刊，1987 年，第 4 期。
[112] 林元雄、宋良曦、钟长永等：《中国井盐科技史》第六章第一节，四川科学技术出版社，1987 年。
[113] 李铁映、林声：《科技入门》（2），辽宁科学技术出版社，1985 年。
[114] 刘源张：《新技术革命与管理科学——迎接新的技术革命》，湖南科学技术出版社，1984 年。
[115] 余明：《自贡盐业资本家综论》，刊《盐业史研究》，1989 年第 4 期。
[116] 自贡盐业历史博物馆编：《井盐史通讯》，1976 年第 1 期及同年第 2 期。





［117］曾进平：《清代自贡盐场经营组织研究》（自贡井盐史学会第三届学术论文），1987 年 12 月。

［118］罗筱元：《自流井王三畏堂兴亡纪要》，载《自贡文史资料选辑》第一辑。

［119］自贡市档案馆、北京经济学院、四川大学合编：《自贡盐业契约档案选辑》，中国社会科学出版社，1985 年。

［120］自贡市盐务局编：《自贡市盐业志》“人物篇·颜蕴山”，四川人民出版社，1995 年。



# 第七章
## 清末深层岩盐矿体的开采

我国岩盐矿产资源的发现和利用，从周朝开始，迄至清朝末期，自贡大坟堡岩盐矿体的新发现，才有突破性的进展。这个岩盐体，是四川也是我国最早发现的第一个深层盐体，至此，便开始了我国深层固体盐矿开发的历史。

自贡先辈们在钻探、开采、管理大坟堡盐体的生产实践中，创造和总结出一套独特的、成功的科技钻采方法，取得了举世瞩目的成就。如，开采技术，由人力和畜力推卤，发展到机车汲卤，这标志着开采工艺巨大的进步；又如，于19世纪末，创建了岩盐钻井水溶连通开采法，比西方（如美国）要早约半个世纪；再如，由于开采技术先进，实现了盐体采收率高达约93%，开创了世界的奇迹，且至今仍处于世界领先水平。地下岩盐采空后，留下了巨大的溶腔（空间），以建造地下储存污水库，有利于保护生态环境。同时，盐场巧匠，还利用物理连通器的原理，创建了竹管（代替钢管）输卤技术——人称盐场上运输的“大动脉”，减轻了繁重的人工劳动，大大地提高了工效，成为井盐史上又一伟大的创举。

四川是我国最大的井盐生产基地，除四川省外，云南为我国又一井盐开发省区，因此，本章还对滇盐古代矿山开采作了简明的论述。

### 第一节　我国第一个深层岩盐矿体的新发现——四川自贡大坟堡岩盐体

我国岩盐矿床资源，蕴藏量极其丰富，类型齐全，分布广泛，为我国盐化工业的生产和发展，奠定了雄厚的物质资源基础。截至1980年以前，经过全国大面积的盐矿地质普查、勘探及研究工作证实，全国岩盐矿床按地理分布[1]，有四川、湖北、江苏、青海、云南、新疆、江西、湖南、山东、安徽、广东、河南、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、西藏及浙江19个省区，但具有工业价值的为前12个省区。岩盐矿床按其NaCl储量，占全国盐矿资源总储量的97.442%，其他如湖盐矿床、湖盐卤水及地下卤水合计NaCl储量，仅占全国盐矿资源总储量的2.558%，即不足3%。由此可知，我国古代岩盐矿床之丰富，居各矿之首。

我国古代岩盐的发现和利用，历史久远，上至周代，下迄清代。早期，古人在采集泉卤的同时，偶有发现露天“咸石”或“咸土”，并以此矿溶卤煮盐。随后，由地面石盐的利用，到采掘地下浅层岩盐。清代，四川自贡第一个深层岩盐体的新发现和钻采，从而揭开了我国开发地下深层岩盐矿产资源的序曲。





## 一、岩盐的早期发现和利用

中国盐业历史，源远流长。经考古证实和史载，早在原始社会黄帝时，就有“夙沙煮盐”之说①，即煮海水为盐。川东盐泉的采集和利用，“煎煮远销之利，则盛于商代”[2]。随着古人在开采盐池或采集泉卤时，偶然发现自然出露地表的“咸石”或“咸土”，并“掘地以出之”，“于戎以取之”[3]，用于煎之成盐。在古代，岩盐不断地发现和利用，自周朝到清朝，史不绝书。在周朝，先民食用的盐中，已有池盐、海盐及岩盐了。据《周礼·天官·盐人》载道：“掌盐之政令，以共（供）百事之盐。祭祀共其苦盐、散盐；宾客共其形盐、散盐；王之膳羞，共饴盐。后及世子亦如此。”这条珍贵的史实证明，当时我国主要产盐地及其盐种，于是便此得知：苦盐即盬盐，出于盐池，谓之池盐②；散盐，煮海为之，出于东海，谓之海盐③；饴盐及形盐，古称戎盐和石盐，谓之岩盐，出于西北④。汉晋时期，四川先民亦发现和利用“咸土”及“咸石”，溶化煎盐。（宋）李昉等辑《太平御览》卷五十二引（晋）常璩撰《华阳国志》注文云：“汶山（今汶山县）有咸土，煎之成盐。”（晋）王隐著《晋书·地道纪》载道：在朐忍县（今四川云阳县）因以产“咸石”，其“石大者如升，小者如拳，煮之，水竭盐成”。（北宋）著名科学家沈括（1031—1095），在《梦溪笔谈》卷十一中述道：“中国所出（盐种——笔者注），亦不减数十种。今公私通行者四种：‘末盐、课盐、井盐、岩盐是也’。”其中就有“岩盐”。（明）科学家宋应星著《天工开物·作咸》中云：“凡盐产量最不一，海、池、井、土、岩、砂石，略分六种。”即盐大致可分海盐、池盐、井盐、土盐、岩盐、砂石盐等六种。（清）四川总督丁宝桢等编《四川盐法志》转引梁元帝《金子楼·志怪篇》云：“白云山，山峰洞澈，有如水精（晶——作者注），及其映日，光似琥珀，胡人和之，以供国厨，名为君王盐，亦名玉华盐。”上述史载的岩盐，为天然出露或洞穴中的岩盐，为零星的采掘，其产量有限。

唐代，云南多盛行和推广凿井汲卤。到清初，已有矿井采掘地下浅层的岩盐矿，开井挖矿，溶矿制盐。据《新纂云南通志》卷一四七云：清乾隆五十八年（1793 年），云南在石膏井，“开井槽二口，用沙丁（矿工）采挖（矿），生卤系属矿礁（即岩盐），先入釜溶化，炼去渣滓，再煎成盐”。从此，云南盐业的发展，步入了一个新的阶段。

---

① 据《世本·作篇》云：“宿沙（即夙沙）作煮盐。”汉宋衷注：“宿沙，齐灵公臣。齐滨海，故以（又作得）为鱼盐之利。”又，清雷学淇按：《路史·後纪四卷》注：“宿沙氏，炎帝之诸侯，今安邑东南十里有盐宗庙。”古说宿沙（即夙沙）为“齐灵公臣”，或“炎帝之诸侯”，今一般认为是一个部落的名称。

② 郦道元：《水经注》第二册卷六“涑水”云：“河东盐池，谓之盬（即苦盐）。”

③ （唐）杜佑：《通典》卷十说：“后周文帝霸政之初，置掌盐之政令，一曰散盐，煮海以成之。”

④ 《通典》卷十云：“饴盐，于戎以取之。”钟广言《〈天工开物·作咸〉注释》（广东人民出版社，1976 年）：“西戎光明（盐）。”即西戎，指古代我国西北部少数民族。光明，即光明盐，又称水晶盐。它多数产在山石上，透明如水晶，可食用。（三国）吴普等《神农本草经》卷三述：“戎盐，一名胡盐生胡盐山，西羌北地酒泉福禄城东南角……十月采。”（唐）李延寿《北史·崔宏传》：“崔浩尝论事，帝赐浩缥酒十斛，水晶戎盐一两。”（宋）《文献通考》卷三三六云：北车师国（新疆境内）：“白蓝如玉。”（明）李时珍《本草纲目》卷十一载：“阶州（甘肃武都县内）出一种石盐，生山石中，不由煎炼，自然成盐，色甚明莹，彼人甚贵之，云即光明盐也。”故此，饴盐即为水晶戎盐，如同白玉盐和光明盐，今名称岩盐，出产于西北。



“岩盐”的命名。岩盐系自然铸就而成，其组合为石盐矿物（NaCl）。一般无色透明，因含杂质，呈白、红、蓝等色。立方晶体，集合体为块状、纤维状等。玻璃光泽，表面吸潮，呈油脂光泽。性脆、味咸，易溶于水等特性。古时，在西方世界，岩盐取有各种美名，诸如宝石盐、天然盐、水晶盐、化石盐、盐石、块盐等。直到1718年，昆士将化石盐和宝石盐合称为“岩盐”[4]。但是，早在11世纪，我国北宋科学家沈括已将自然生成的石盐矿物科学的命名为“岩盐”。于是，岩盐之名，即导源于此，并一直沿用至今未变。沈括对“岩盐”的命名，比西方昆士要早六个多世纪。为此，世界上“岩盐”最早命名的是中国。

**二、我国第一个深层岩盐体的新发现**

**——四川自贡大坟堡岩盐体**

我国钻井技术，于北宋初发明，迄至清代后期，历经了长足的进步和发展，已形成一套完整的钻井工具群及其独特的工艺技术体系，这为井盐深井的钻凿和岩盐的开发，提供了有利的手段。1825年至1850年，在自贡大坟堡地区，钻成千米左右的深井相继出现，如，永兴井①（取其永世兴旺之意），位于大坟堡岩盐体北段（今地名为颜家湾永兴街，以井命名街名），由自贡大盐商颜昌英和颜昌训弟兄俩合办，于清嘉庆末年（1820年）开钻，至清道光五年（1825年）胜利完钻。钻深约980米，井径（口径）100毫米~（底径）80毫米。该井钻成，卤丰火旺，生产极盛时，取卤制盐煎锅300余口[5]（折天然气日产三万余立方米，盐日产30多吨），是一眼卤气共生、以气为主的高产井，岁盈利白银十万两。该井以钻成投产到卤气枯竭，历时长达120年左右，为自贡盐场罕见。

熊楚在《论自贡井矿地质》② 中，提到“以磨子井为中心点，发现自贡区内，能产煎四五百锅以上的大火井”，有海顺、源流、春潮、新双盛、正龙、永兴等十四井，这证明永兴井实属大火井。

永兴井见功，获利丰厚，接着颜昌英又独自在大坟堡盐区钻井多眼，先后钻成的井有：北海、来龙、永龙、东海、自成、涌金等井[5]。这些井或卤或气，均获得成功。如来龙井，日产卤水100余担，卤气两旺。短短十多年，颜氏弟兄在大坟堡盐区，钻成卤气井多眼，获利甚丰，由此发迹，跻身于盐场富商之列。清道光中叶（1835年），燊（兴）海井钻深达1 001.42米，获得日产黑卤14立方米及天然气8 500立方米。这眼井的位置，虽不是钻到岩盐区内，但却在盐体东侧边缘。

1851年至1891年间，大坟堡盐区，是自贡盐场生产黑卤的中心。但在开发黑卤的同时，有些井钻达岩盐层，由井内黑卤溶解岩盐，生成“咸黑卤”，为黑卤和岩卤混合同采。

大坟堡盐体，南段受东南翼地下断层切割，北段位于构造部裂缝地带，裂隙十分发育，因此，天然气和卤水蕴藏丰富。（清）盐商富豪王朗云，在扇子坝淘办的“三生、金海等井，产黑卤甚丰，而咸量达到每碗三两三钱（300克/升）左

① 该井与豆芽湾永兴井（又名石星井）名称相同，但井的性质和地址不同。

② 熊楚：《论自贡井矿地质》，原名《自贡地质矿产盐业问题》，民国二十四年印本。




右，谓之头等咸，且曾自动喷水，而时间又特别长，客井进班分红和自推获利颇大，家业为之大振”[6]。（清）李榕在《自流井记》云：“双福井水亦昼夜喷千余担。经年不喷，牛车推之，尚可百余担。”凿井匠师颜蕴山，为王三畏堂在大冲头锉办的生财井，锉至井深296丈（折约1 065米）见功，黑卤既浓又多，井里水柱涨高400米，成为一眼有名的黑卤井。同兴井，钻至井深910米处，黑水喷井口，高达40多米。这些井基本上为自喷井，卤咸量丰，可见，岩盐区黑卤埋藏量之丰富。

1851年，川盐济销楚岸，新开辟了两湖（湖北、湖南）广阔的市场。这时，为自贡盐业发展带来了良机。于是，大兴井灶，增产加运，商贾穿梭，盐业生产达到了空前的大繁荣。在自流井场大冲头（扇子坝）、大坟堡、来龙坳、杨家冲等地，是自贡盐场老四大家族王三畏堂、李四友堂、颜桂馨堂等姓开发和生产黑卤的集中地区，黑卤井星罗棋布。后来，这些井大多进行淘办加深至盐层，而成为岩卤井。在盐区共1.2平方千米内，钻至盐层的岩卤井，共计150眼。由此可知，在大坟堡盐区，原有的黑卤井，至少有80多眼。当时，在大冲头生产的黑卤井主要有金丰、信元、金海、添福、蒸源、泗发、涌海、地成、三生、宝三、人和、上一（益）兴、生财、下一（益）兴、五福、天生、咸海、洪恩、坤源等井。

在大坟堡、来龙坳、周家冲、杨家冲一带的黑卤井主要有开财、来龙①、春生、同济、同源、真海、天涌、春海、骑龙、生洪、源流、新（兴）发、富源、同海、炎荣、云海、天全、大全、积荣、神涌、祥贞、发源等井。

上述地区这些卤气井，其中有一些井钻深达900～1 000米左右，已接近盐层顶板或进入或揭穿盐层。由于盐层较薄，该井自产黑卤或井筒上段淡卤，沿着井筒流入盐层，或岩盐被油灰封堵了，卤水通过岩石裂缝透过盐层，因此，岩盐被溶解，增加黑卤的咸量，这种卤水被称为“咸黑卤”（实为自然卤水溶解岩盐后，生成的一种混合卤），其咸量有的井高达9～10两（300～330克/升），供日夜推汲，大大提高了卤水咸量及产量。

当时，在钻井过程中，也有一些刚进入或钻穿盐层时，由于井深，岩层复杂，变化大，岩卤和黑卤混合，加之那时测试手段所限，因而，将岩盐误认为泡岩、滥岩、豆渣岩、泡巴岩等。为预防这种岩层垮塌，发生井下卡钻事故，往往采用油灰（桐油与石灰拌混而成）封堵起来，经查明，在钻井中发现岩盐当成“豆渣岩”“滥岩”补腔的有炎荣、云海、富源、同海等井。

1892年，发源井加深对盐体进一步揭露和发现。该井地理位置在自贡大安区杨家冲，地质构造部位属于自流井构造轴部东端。井址位于盐体北段偏西。井口海拔标高335.6米。地面地层为大坟堡泥岩，井底地层为三叠系嘉$_{四}$层。该井原名源泉井、广源井、广泉井，因对大坟堡盐体进一步揭露和发现有功，故名发源井。

此井，先为陕商开办，曾生产黄、黑自然卤水，后因卤源枯竭而停产。当时自贡分东西两场：东场（即自流井又名下厂），气丰卤缺；西场（即贡井又名上厂），卤多气少，为解决两场气卤生产的不平衡，由四川总督丁宝桢出面主持定

---

① 来龙、源流等井，为盐商颜昌英开办，1851年以后仍为黑卤生产井。



案，“西卤东移”（即用竹笕管，将西场卤水输至东场煎盐），但卤源仍然奇缺，供不应求，引起卤价倍涨。清光绪十八年（1892 年），盐商李柏斋租佃陕商的广源井，“煎烧瓦斯（即天然气）数口，苦于缺卤济煎”[6]。为开辟新的卤源，于是，决定对该井加深，推汲卤水，以缓解燃眉之急。自井深 774 米，加深至 900 米左右，因旧井年久失修，井内上段老腔复发，岩层垮塌厉害，为确保井下钻进安全，为此，打算重新补腔后，继续往下加深。在治理垮岩时，泥筒将井底的岩沙（即岩屑）捞出地面，便发现岩砂中混杂有岩盐颗粒。开初未引起重视。但发现盐粒越来越多，同时，钻井中的搧泥水（实为岩盐溶化的卤水），倒洒在井旁，水分蒸发后，自然结晶成盐，阳光照在晶盐上，闪闪发亮，耀眼夺目，视感新奇，因而，引起当班工匠的注意和兴趣，捡起白色晶盐尝之，味咸极浓，犹如食盐。于是，认定为盐岩，盐层厚 2 米左右，俗称“豆巴岩”“盐精”，便更名为“盐岩”（今称岩盐）。接着用淡水注入井内，岩盐溶解后，推汲的岩盐卤水，咸量近于饱和浓度（330 克/升左右），比一般自然黑卤咸量（约 170 克/升）高出近一倍，以卤煎盐，不仅产量比黑卤高，而且盐质更优，岩卤不含胆质，煎盐后不抽胆，减少了卤耗、盐斤损失，获利甚丰，始知岩盐之宝贵。岩盐发现和利用之事，不胫而走，立即轰动了自贡盐场及盐业商界。于是，有的自贡盐商，才如梦初醒，豁然开朗。从而，启迪过去对岩盐的误认，开拓前进。因利之所趋，故凿办岩盐井者甚多。盐商王举皋、李伯斋等，将原在“豆渣岩”“滥岩”层，用油灰填补的井，如新发、富源、同海等井，采用精巧的治井工具，放入井内补腔位置，再把油灰刮去，露出盐层，灌水推汲，一律都获咸重卤丰。随后炎荣、云海等井亦淘办起来。于是，在杨家冲、大坟堡、周家冲等盐区，凡早办的旧黑卤井，曾经发现有“豆渣岩”“泡巴岩”者，便纷纷加以修治和利用，或锉办新井，以寻求地下岩盐。旧井新用，死井复活，岩卤井如雨后春笋般的发展起来，在大安地区，岩卤井基本上取代了黑卤井生产。

岩盐的发现和利用，改变了自贡盐场生产的布局。长期以来，贡井（称西场）卤多，自流井（称东场）火盛，因而，西卤东移，接济火灶煎烧。而大坟堡岩盐的开发（属东场），岩卤极丰，致使东场卤水供过于求，改变了多年以来东场卤缺，西场卤剩即“西卤东移”的局面。从此，自贡盐业迈进了一个新的时期。

综上所述，岩盐的发现，可分为两个时期，第一，1825 年至 1891 年，为盐体的初步发现和部分的开发和利用。这一时期，大坟堡地区，为黑卤开发的中心，卤井鳞次栉比。当时，在开发黑卤的同时，有些井已钻入或钻穿了盐层。由该井的自然黑卤及其咸淡水，溶解岩盐，增加了黑卤咸量，生成“咸黑卤”，供推汲利用。但有的井在钻井中，岩盐被当作“泡巴岩”或“豆渣岩”，为防止垮塌，用油灰封堵起来。第二，1892 年，为盐体进一步发现和大规模开发的肇始。这一时期，大坟堡地区的黑卤，经长期的开采，已近枯竭，卤水奇缺，发源井在加深中发现固体岩盐，正如雪中送炭，从而确立了深层盐体重要的地位。自此，进行大规模开发，并将原有多数黑卤井加深至盐层，由黑卤井变成岩盐井，大坟堡地区，亦由黑卤开发的中心，一下变成岩盐开发的中心，从地面注入淡水，溶盐成卤，成为自贡盐场卤源供给重要的基地（见图 7－1）。

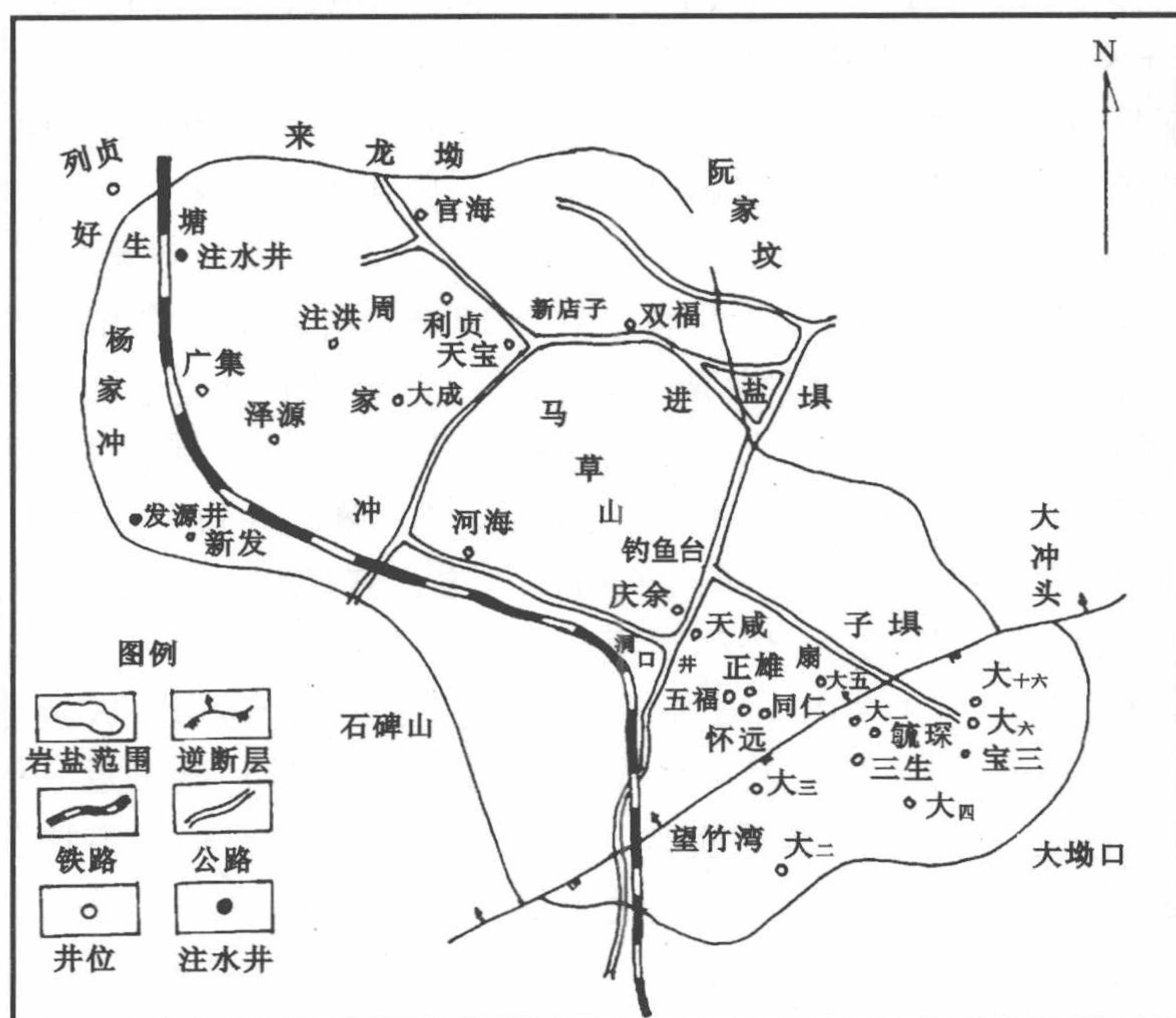



图 7－1　自贡大坟堡岩盐矿体

采自：原化工局地质队《大坟堡矿区盐卤生产研究报告》（1961 年调查作图）

这个盐体，由于埋藏深、盐层薄、地层较复杂，加之，井内自然卤水的存在，岩盐被溶解，在钻井中，各种岩沙（岩屑）的混杂，因而，对岩盐的认识和发现有一个过程，这是符合自然规律的。由于先民们不懈的努力和顽强的意志，与地下岩层作斗争，终于取得了全胜，获得了宝贵的岩盐矿产资源，为人类社会造福。同时，为我国深层岩盐的发现和钻采开创了先例。

国外早期地下岩盐的发现，以美国和俄国具有代表性。

美国早期岩盐的发现[7]。美国地下岩盐蕴藏量十分丰富，先后在许多州（地区）都有发现。1840 年，美国最早在弗吉尼亚州发现岩盐，盐层埋深 215～273 英尺（折 65.5～83.2 米），采用竖井开采。1862 年，在路易斯安那州 Avery 岛发现岩盐，盐矿埋深为 15 尺（折 4.57 米）。1865 年，在安大略县文森特附近石油勘探井中发现了岩盐，因此命名“文森特盐矿”。继此之后，于 1878 年，在纽约州怀俄明县，又在一口石油探井中，发现了岩盐，盐层厚 70 英尺（折 21.3 米），埋深 1 279 英尺（折 389.8 米）。1887 年，在堪萨斯州，通过钻探的方法，在井深 800 英尺（折 243.8 米）发现了岩盐。自此，由于地下岩盐大量的被发现及利用，因而食盐失去了贵重商品的地位。

俄国岩盐的发现和开采，始于 17 世纪。当时岩盐开采方式为地下坑道水采即坑道洞室水采。但这种方法是间断地或连续地把淡水注入地下坑道，以溶解岩盐，获得卤水[8]。

岩盐钻井水溶开采，于 1910 年首次在俄罗斯的新卡尔法根盐矿采用。1923



年，钻井水溶采盐获得了进一步发展，井深为750米。由于钻井水溶采盐的优越性，因而，在盐矿采卤中便获得普遍的推广应用[8]。

由此可见，俄国岩盐的发现和利用，始于17世纪。但岩盐钻井水溶开采是在1910年，至1923年时，盐层采深才达到750米。美国在1840年，最早发现岩盐，但开拓方式为竖井。1865年，在石油钻探井发现岩盐，之后，岩盐相继又在石油勘探中发现，但都属浅井。1878年，在纽约州俄明县一口探井最深仅1 279英尺（折389.8米）。我国岩盐的发现和利用，早在公元前11世纪就开始了。岩盐钻井水溶开采始于19世纪初。1825年至1891年，自贡大坟堡深层岩盐在钻井中被发现，并获得了初步的利用。1892年，岩盐进一步被揭露，开始了大规模的钻采，而且钻采深度为900～1 000米。为此，岩盐钻井水溶连通开采，我国比俄国约早85年，比美国约早50年，同时岩盐的钻井深度和开采水平远远超过美、俄两国。

## 第二节　岩盐井的采卤技术

我国井盐矿山开采技术，自秦至清（代）历时长达二千多年的发展和进步。清代，岩盐井采卤技术，在黑卤（深）井开发的基础上，又获得了进一步的发展和完善。主要表现在：天车升高和加大，汲卤筒的加长及筒径的增大，牛车推卤的普及，蒸汽机车汲卤的发明和推广等等，已形成了井盐采卤独特的系统。为了适应机械采卤的需要，前人在长期汲卤的实践中，总结出了一整套科学的、严密的、规范化的操作程序。汲卤时，创造性地以简便实用的铁铃为（井、车之间）联络信号，同时另在竹篾或钢绳上适当位置，用麻纫捆扎牛皮作标志（俗称“八块”“望水雀”），于是，汲卤中的一些复杂问题得以迎刃而解。岩盐井汲卤，一年四季（春、夏、秋、冬）昼夜不停，有条不紊，并将千米深井里的岩卤，源源不绝地汲到地面。在机车运转和汲卤作业中，采取积极的步骤和方法，将事故防患于未然，即便是发生故障，亦能迅速地消除，做到安全生产，确保汲卤生产正常进行。

为此，矿山机械的进步，采卤工艺的设备，开车工匠技能的提高，从而使岩盐井的采卤技术，在我国井盐矿山开发史上，达到了新的阶段。

### 一、完备的采卤机械系统

清代，岩盐井采卤机械已发展和构成了自己完备的系统。这个系统，包括宏伟壮观的天车，庞大飞转的地车，巧妙精制的汲卤筒及先进的蒸汽机车汲卤。

#### （一）宏伟壮观的盐井采卤天车

宏伟壮观、顶天立地的天车，又名“井架”，属于盐井地面设备类，与现代钻井的钻架（塔）类同，由汉代采卤楼架演进而来。

据考证，在中国井盐史上，早期天车的功能是用作支撑承受升降盛卤容器，采汲井里的卤水。明清时期，随着井盐矿山开采的发展，天车亦有了更为广泛的用途，即用其汲卤而外，还用于钻井、捎泥、测井及修治井。在自贡盐场辉煌的历史上，曾出现过盐井星罗棋布，天车林立，宏伟壮观的景象，这正是古老“盐都”的象征，为中国井盐科技史写下了光辉的一页。

天车以它威武的雄姿，科学的结构，奇巧的造型，受到中外游人的赞叹。早在100多年前，一位美国学者弗吉尔·哈特在《自流井考察记》中写道："在十英里以外就看到许多高耸的木制天车，不仅遍布这个城镇中心部分，而且逶迤几英里，延伸到了乡村"，"这种景象是外国人所想不到的。"[9]历代文人墨客也以天车作题咏："架影高低筒络绎，车声辘轳井相连。"[10]"天车如竹笋，高耸入云天；保持不歪斜，四周风篾牵。"[11]"千年生产足称豪，井架摩天节节高。"[12]这些描写盐场天车的史诗和游记，铭记了先民的才智和创造，同时，又反映了井盐生产的发展和科技的进步。

1. 天车的演进

我国井盐业，始于战国末李冰"识齐水脉，穿广都盐井"。至汉代，川盐生产有了很大的发展，随之，采卤方式也有了明显的进步，能工巧匠创造出了一种四脚双层采卤楼架。北宋初，四川"卓筒井"新工艺的发明，为适应这种采卤工艺的需要，由原来双层四脚楼架改成独脚"引竿"或"望天龙"① 等形制。所谓"引竿"，即用单竹（或树条）捆绑，竖立井口一旁，一般高5米左右，四周牵以竹制"晃篾"固定而成，其形制和结构极为简单。这种"引竿"一直沿袭到现代，且迄今川北少数盐区仍可相见。不过，"四脚双层楼架"② 和"引竿"的造型，可视为现代天车（井架）的雏形。

明代后期，由于井盐生产经历长足的发展，钻井工程技术的进步，盐井地面设备有了重大的改进，这时"天车"之名便正式问世了。据《李氏族谱》卷九记载，于1628年，李育果十岁时，为抢修"天车"，便趴"上天车换索"，确保了盐井生产安全。这是目前所见井盐史上"天车"命名最早的记载。少年的李育果，勇敢地爬上"天车"进行高空作业，据此推知，这是一架不大亦不高的天车。另据自流井盐厂《福林井井矿卡片》史载及调查，该井于明末开办成功，生产黄卤及天然气，至清代后期，因井内发生落物故障尚未解除而停搁（黄卤停产），但因井里还有浅层气二口，故延续开采到1957年废弃。废时，地面设备保存尚好，其中天车用杉木捆绑而成，高约三市丈左右（折约10米），架顶安有天辊，与地辊、大车相连，直立于井口。福林井天车的遗存，恰是对《族谱》中所记天车的佐证。又（明）马骥《盐井图说》述道：钻井成功，"始树楼架，高可似敌楼"（楼高约15~20米）。架顶置"天滚"，地面安"枢轴侧管于车床"即为地滚，用作支撑采卤。这种"楼架"的形制和结构，《南部县志》记述较详："井成之后，制车房于上，旁竖木杆，名曰'楼架'，四周系之以绳。杆顶横担一木，木上二叉，架一天滚，以为井索上下之轴。"[13]"井上树三木，长约三四丈（约10~14米），上尖下阔，如鼎足。尖上置转轮，曰'楼架'。"[14]由上得知，明代后期"天车"的问世，并用于钻采井卤，标志着矿山开采技术的巨大进步。这时的"楼架"，已有很大的改进和发展，不同大口井时期的"楼架"了，其形制和结构（由二脚或三脚、天

① 卓筒井采卤时，汲筒推出井口，筒上顶依托的"引竿"或"望天龙"地面设施，迄今在川北大英乡卓筒井遗址仍可见到。反映了原始的井架形制。

② 见本卷第三章第二节"楼架采卤"（图3-1）。



滚、地滚构成，形如“鼎足”），倒是与自贡盐场的天车近同。为此，明代后期川北地区的“楼架”和川南自贡盐场的“天车”，均系一种简易的“井架”。

清代，四川井盐生产空前繁荣，自贡盐业达到鼎盛，为钻井和采卤负重的井架，对此立下了汗马功劳。这时的天车，架体升高加大，结构趋于完善，在明代简易天车的基础上，由小型向中型天车发展。其造型和结构主要的有两点：第一，天车（井架）的高度。根据当时盐井钻采的需要，盐场设置了高、中、低三种不同类型的天车。即“高者十一二（井）丈”（折约 39.6～43.3 米）；“次者七八（井）丈”（折约 25.2～28.8 米）；“再次五六（井）丈”（折约 18～21.6 米）[15]。这时的天车高度，大大超过了明代，为此，清代井架升高开创了新的纪录。但从井架演进的历史长河来看，这时的天车高度还属于小型井架（20～30 米高）到中型井架（40 多米高）。第二，天车（井架）的造型和结构趋于完善。清代井架结构中，除了正身（又名“正梗”“正桩”）、天滚（天滑轮）、地滚（地滑轮）与明代井架相同外，其造型结构更加科学。如，井架脚数由明代双脚、三脚，增至四脚、六脚。同时架体增加了小木（扶持“正梗”）、前倒挂、后支杆、横数木、肘脚、斗挡、撑定等。因随着井架的升高，推汲负载的加重，相应地增加一些附件，井架结构更趋于完善，以保证盐井安全生产。

建造一架中、小型井架（天车）用木甚多，且造价昂贵。“日产百担水的卤井，天车须八九丈高，需木料两百多根。而两百担以上的高产井，天车在十丈以上，需大木三四百根。”[16] 故“所用之天车架，小者数百金，大者三四千金。偷拆一天车之木，足供建一住房之用”[17]。大型天车的建造，则用木料和造价就更多了。

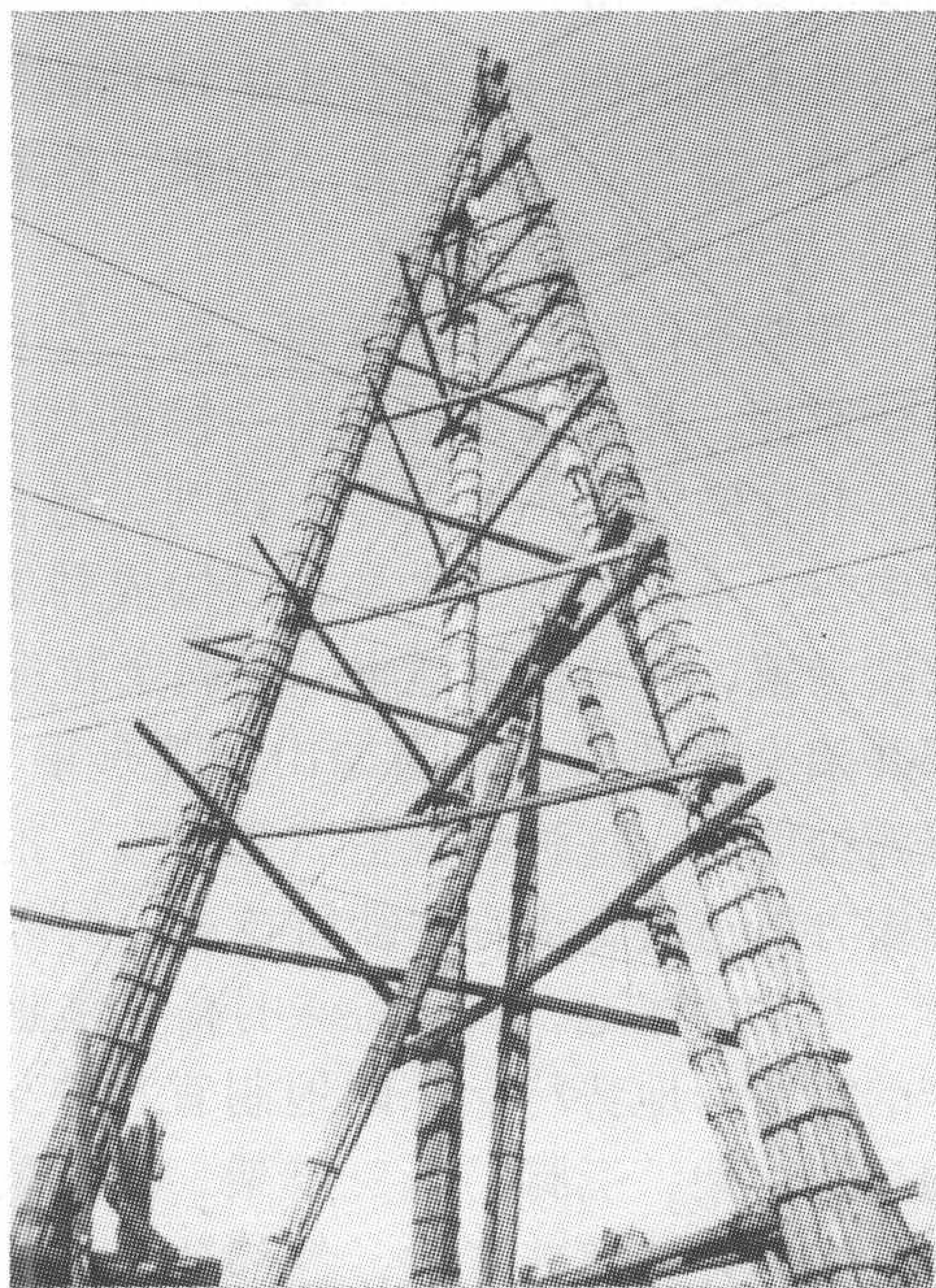
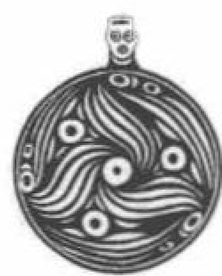


**图 7－2　咸宗井井架　清代盐井①**

**自贡市贡井盐厂咸宗井遗址　缪自平摄影**

伴随着井盐生产力的提高，盐业的大发展，盐井的深度增加，井径的扩大，汲筒的加长和增大，推水负载的加重，为适应生产发展的需要，因而，要求井架亦相应地不断升高和加大，成为雄伟挺拔，直插云霄的庞然大物，耸立在井口，盐场谓之“大型井架”（见图 7－2）。

所谓“大型井架”，即系井架高大，造型结构完善，承受负载重，产卤量高。四川大型井架，主要散布两大采区：一是乐山五通桥采区，该场的裕源井，最高井架达 73 米；二是自贡采区，因岩盐的资源丰富，潜力巨大，于是增大动力，加长汲筒，升高井架，一时曾为矿山革新、挖潜、增产的重大措施。盐区井架普遍




升高，由原来的50～60米，升高到80～100米左右。如，大坟堡天佑井的井架由60米升高到91.7米，自流井盐厂土地坡盐区达德井天车则最高达113.32米，成为我国井盐史上最高的井架。

井架的升高和加大，其脚根数不断革新增多，由四脚、六脚、八脚，增加到十脚、十二脚、十四脚。其中，正脚由二脚增至六脚，与此同时，井架的附件及地面生产设施也随之变革，即由50米左右高的井架，其六脚组成（其中正脚二个），安置一个天滚（天滑轮）、一个地滚（地滑轮）、一台机车动力、一架汲筒，发展到100米左右高的大型井架，由十四脚构成（其正脚六个），安装三个天滚、三个地滚、三台机车动力、三架汲筒，实行连续生产，昼夜不停，从而成倍地提高了工效，极大地推动了井盐生产的发展。如，天佑井实行了三机、三炉、三筒的采卤，由年产盐3万吨，猛增到年产盐8万吨。

井架（天车）是四川盐业先民又一伟大创造，并历经了漫长岁月的演变和发展，在富荣、犍乐等盐区拔地而起，耸立云天，成为盐场一大奇观。特别是自贡地区的井架，更是“井架摩天节节高”，林立于盐场，如在大坟堡盐区，仅1.2平方公里多的面积内，先后钻井180余眼，井架如竹笋般地屹立着，鳞次栉比，形成井架群，蔚为壮观，成为“盐都”的象征。

2. 井架的建造与结构

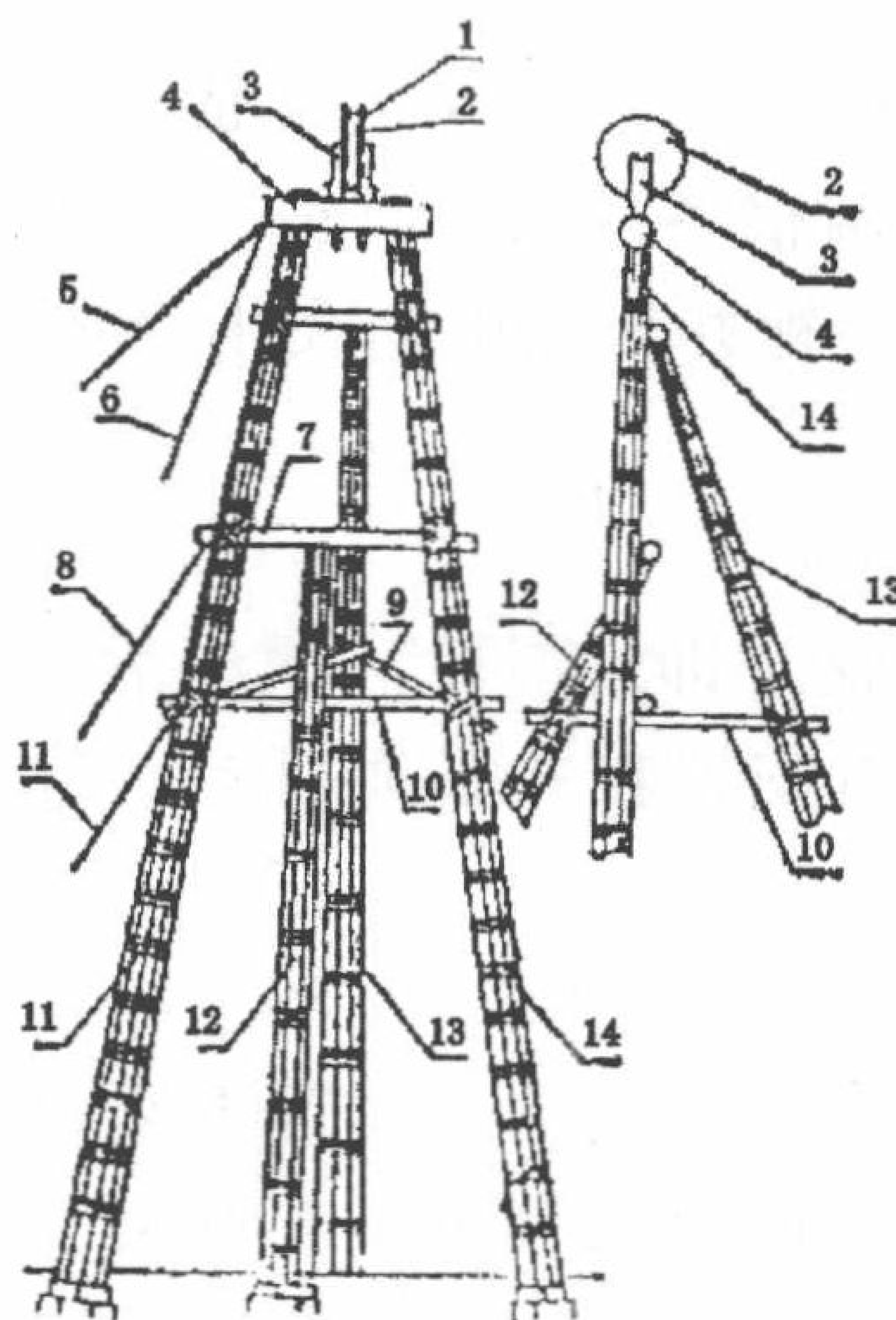
井架不仅外形雄姿挺健，高大壮观，而且设计巧妙，结构科学，应用了现代力学原理。其主架建造是用一根根大小不等，长短不一的杉木，由地面向高空架立，并在空中将一根根杉木排列、组合、接逗、捆扎、楔紧组成数根或十余根外圆中空、下大上小的木柱，以构成井架的主体。再配置各种附属设施，包括架顶安装天辊，井场设置地辊，四周牵拉绷绳（俗称风篾）等，则一部井架即成。整部井架坐立井口，稳固如山，既有很大的承重能力，又有很强的抗震、抗飓风、抗腐蚀能力。这种外观呈“宝塔形”的井架，“大者需用2 400根杉木，32 000个木楔方能造成，堪称井盐科技史上的奇技”[18]。

井架的建造，属于特殊的高空作业，是由专门的工匠来完成的①。根据盐井生产的需要，地势特点，因地制宜，井架有各种造型，如一脚的为独脚井架，双脚的呈牌坊架，三脚的呈三脚架，四脚的类同现代钻架，五脚至十四脚的呈塔式井架。依据井架建造方式，各部分工艺、结构、功能、材质等不同，井架结构可分为三大部分②。即（1）架体（支撑）部分；（2）天地辊（滑动）部分；（3）风篾（加固）部分（见图7－3）。

① 井架建造工匠，盐场称“辊（滚）子匠”，简称“辊工”。

② 据清代燊（兴）海井等现存天车实物，可将整架天车的构成分为三大部分。





1. 羊耳　2. 天辊　3. 天夹板　4. 天箍头
5. 丁头　6. 飞蛾　7. 线盘　8. 腰风
9. 剪刀架　10. 十字丁杠　11. 左正柱　12. 前支竿
13. 后支竿　14. 右正柱

**图 7－3　井架造型与结构**

**采自：《中国井盐科技史》**

（1）架体（支撑）部分

架体（支撑）部分，由几根到十四根内空外圆的木柱及其附件构成，是整座井架的主体，起着支撑承重作用。主要包括正柱、前支、后支、十字杠、剪刀架、楔子、箍索等。

正柱：又名正脚、正身、正梗、正桩，是井架的主柱，分左右两根到六根，分别卓立井口两侧，上置天箍头和天辊子（即天滑轮）。杉木长者约 28 米，短者 10～15 米左右。长大伸直者，用作脚子料，即正身主体。不够长者，但短粗又伸直者，可用两根或三根接逗成一根脚子料。其间镶一些短小的“娃娃料”和填箱料，以填满正柱间的空隙，使其成一个圆柱体。长大且直，末端粗壮者，作“倒龙（拢）料”，即正直上端插入一根倒置的杉木，锯有公榫，与天箍头榫接。正柱从下至上，每隔 0.5～0.8 米左右，捆篾索一道，并用松木楔子楔紧，四周拉风篾（绷绳）固定。关于井架正柱架立的高度与支杆、风篾（及风篾桩）、地辊、绞车的距离（见表 7－1）。

前支与后支竿：又称前肘与后肘（后倒挂），均成丁字形，都是支撑“正身”之柱，故名“撑柱”，使之稳定，不致动摇。其结构与正身一样，由杉木捆绑组合而成。上端有“倒龙（拢）”作标头，榫入一根横梁上，即名“斗槨”上。前后支杆的斗槨两端都用绳索捆固于正柱（即正身）上。同时，在架立前支时，不能撑于正中位置，适当向正身或左右偏移，以避免与绳索上下摩擦。后支虽不与绳索发生摩擦，但也要稍有偏移，留出足够的空位，以便安放钻井碓架（即踩架）。

十字杠与剪刀架：是用于连接和约束正柱与支竿倒挂。以两根细短的杉木，

其中一根两端与左右正柱横向连接并捆牢，另一根与横木（前者）交叉，两端分别绑固于支竿和倒挂上，因此，两根互相交叉成十字形，故名“十字杠”，俗称“穿”。又以两根杉木，分别两根各端与倒挂或支竿连接，其另两端绑于正身而成“V”字形，故名“剪刀架”，视井架高度与大小而定，矮小者3～5道，高大者6～8道。

（2）天地辊（滑动）部分

天辊（即天滑轮）和地辊（即地滑轮）属于滑动系统，但二者安装的位置不同，前者置于井架顶端；后者安置在井场地面上，为便于清楚地了解，在此分别叙述于后。

①天辊系统

天辊系统，属于井架的重要组成部分，置于架顶，用来悬吊、起放汲筒和钻具的篾索。这个系统的构件主要有天辊子、天箍头、天夹板、羊耳、座子（辊子轴座）、布士（轴瓦）、轴盖（轴承盖）、油圈（储油圈）等，见上页图7－3（井架造型与结构）。

天辊（滚）子，简称天辊，即单向定滑轮，安放在天夹板辊槽内。其功用以系推筒及钻具的篾索或钢绳起下井，并将垂线的绳索变成斜线通达地辊。清代以来，天辊经过改进，有木制和铁质两种。在此，以木制天辊为例，其构成和制作：一般是用七块不同形状的黄檀硬木镶成一个圆轮，即由一块扁长的“正心”；四块尖锥形的“月牙”；呈扁形的“扦心”，并按一定的工艺要求拼镶一圆轮，直径约0.6～1.2米，厚0.16～0.2米左右。同时，沿着轮周凿有弧形凹槽，俗曰“辊槽子”，以便推索通过。为防止天辊转动时绳索跳出槽外，还用木条或竹条16～20根，名曰“羊耳”，按等距离钉在天辊两边圆面上，并伸出辊边5～8厘米左右，再绕上竹篾成圈，俗曰“风圈”。圆轮中心为“轴心”，称之“辊把子”。

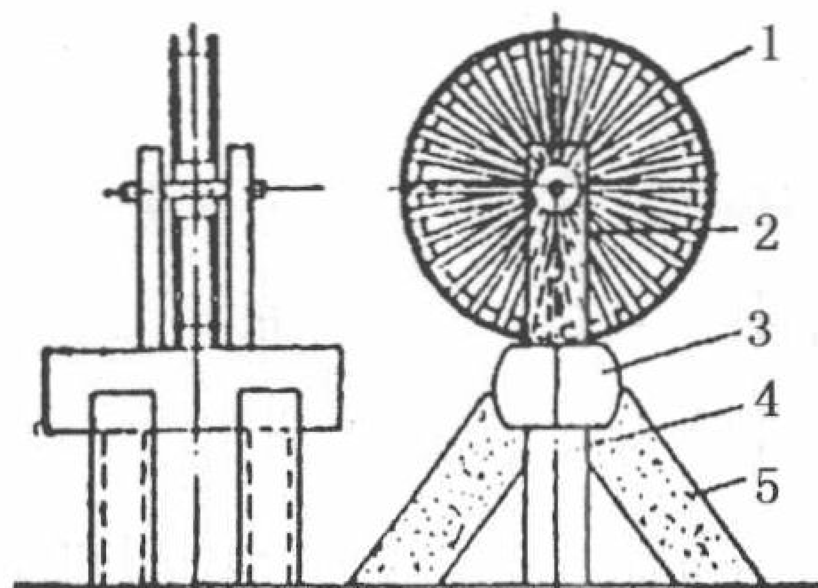
天箍头：即安置在两正柱顶部的一短巨木，人称“井架顶端的横梁”。制作时，先取麻柳或黄檀木或皂角树硬木一段，长约2.4～2.8米，直径约0.5～0.7米左右，然后将其上下两面略砍平，其中部凿两个榫眼，安装天夹板和天辊。两端开两个母榫，与左右两正身“倒龙”的公榫扣合，并牢固地支撑着天箍头。再靠箍头两端，分别开凿凹槽，作系风篾用。

天夹板：即形状相同、大小相等的两块长方形木板，以黄檀硬木制成。其下端有公榫直立插入天箍头的榫眼中，夹板高出箍头面1米左右，其上端中央凿有凹槽，俗曰“鸦雀口”，并嵌有铁耐磨儿，使其经久耐用，不易损坏，地辊轮轴即安放于铁耐磨儿槽内。

②地辊系统

地辊系统，则是安装在地面井场上的滑动部件，位于井口与绞车之间（关于地辊与井口间的距离见表），它与天滑轮一样，同属井架重要的组成部分。其功能是把系于天辊的索和花辊子上的篾，由斜线变为地平线，直达绞车（大车）。此系统的构件有：地辊、地夹板、地箍头、万年桩、压石、基础等（见下页图7－4）。






1. 轮子　2. 夹板　3. 箍头　4. 万年桩　5. 压石

**图7－4　地辊（地滑轮）系统**

**采自：熊佐周等《自贡盐场锉井及治井技术》**

地辊及构件，要安装牢固。其地基埋有窝牛石（又名碓窝石），石中抽眼，地辊的脚柱名曰木制“万年桩”（两根），下端分别插入两个石眼中，并用木楔子楔紧。万年桩的上端有公榫，以接逗地箍头的两个榫眼内。脚桩的高度，除去埋入地下和公榫部分，一般高出地面1米左右。地箍头上面直立夹板两块，在夹板上端开凹槽，承安地辊轴心。为加固基础，又在万年桩两边加上压脚条石，有的还用重石两块，分别系吊在地箍头的两端。

关于地辊、地夹板、地箍头的取材和制作方法，均与天辊、天夹板、天箍头相同，此不再赘述（详见第334页①天辊系统）。

（3）风篾（加固）部分

所谓“风篾”，即类同现代钻机拉牵的“绷绳”，是以加强井架的稳固性能，保证盐井生产安全，防止井架倾斜或倒塌。

盐井在钻治和开采过程中，井架负载很重。大型盐井生产，井架高度100米左右，一般推筒长约90米，提捞一筒水的重量（包括筒、卤水、钢绳三者）约4～5吨，如再加上井壁摩擦阻力，就更重了。同时，井下作业，也难免出现卡钻、或卡筒落物事故，为解除井内故障，有时也采取加大动力，猛力的提动，往往发生钢绳（规格型号7×7，最大极限拉力14吨）被提断，井里卡物仍丝毫不动。可见，此时井架承受重量超过14吨，为一筒水重的三倍左右。并在猛烈提取井中落物时，井架不仅承受的负荷很重，而且受到十分强烈的振动，井架摇摆很凶，密如蛛网的风篾，也产生激烈的抛弹抖动，互相交撞发出“哗哗”的响声。高大的井架，又处于山坳地区（如，土地坡盐矿），特别是遭受狂风暴雨的袭击，摇动更加厉害，受到严峻的考验。在自贡盐场历史上，曾发生过多次地震，最大达5.5级，一些厂房、民房垮倒，而井架还是耸立井旁。总之，井架于一年四季春夏秋冬，昼夜不停，长期处于高负重下运作，经受了一次又一次严峻的考验，仍是雄姿挺健，巍然屹立于井场上。研究其原因，除了工匠在设立架体时，工艺选材、组合、接逗、捆绑、楔紧等操作高质量外，关键时刻起着重要作用的还有“风篾”。人们常说，井架具有很强的负重、抗振（震）、抗风的性能，其中还包括“风篾”的功绩在内。经实践证明，在拆卸搬迁井架中，只要“风篾”一部分取掉，井架便立即发生倾斜；如全部分取掉，顷刻倒塌。可见，井架离不开风篾而独立存在。正如前人诗云：“天车（井架）如竹笋，高耸入云天，保持不歪斜，四

周风篾牵。”为此，俗曰“风篾”，从一定意义讲，即是加固井架，抗击“风暴”的有效措施。

风篾（加固）系统，乃是井架不可缺少的重要组成部分。主要有丁头、飞蛾、腰风、风篾桩等见（第333页图7－3）。风篾原为篾索或牵滕，后改用钢绳。风篾两端，一端捆在井架上，另一端拴于地面预制的石桩上，即“风篾桩”上，以起着稳固井架的作用。捆在开篐头四角上，往下拉到地面的风篾，名曰“飞蛾”。捆在天篐头的两侧，向下拉到地面的风篾，称之“丁头”。捆在井架半腰往下拉到地面的风篾，谓之“腰风”。一座井架拉多少根风篾，视井架高度、大小而定，如，100米高的井架，总计要拉数十根风篾。

风篾的长度即井架上到地面风篾桩的距离，有一定的规范，这关系到加固井架的效用。过去是根据井架不同的高度，先是确定从井口至风篾桩的距离，然后计算风篾的长度。如，井架高度100米，井口至风篾桩的水平距离为170米，即确定了地面风篾桩的定点，再从天篐头向下拉斜线至风篾桩的距离，即为风篾的长度（见表7－1）。

**表7－1　木制井架规范**

单位为米

| 井架高度 | 正柱跨度 | 前支杆与井口距离 | 反支杆与井口距离 | 风篾柱与井口距离 | 地辊子与井口距离 | 大车与井口距离 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 14 | 15 | 10.5 | 170 | 17.5 | 45 | 各项为水平距离 |
| 60 | 12 | 12 | 7 | 100 | 14 | 40 | |
| 30 | 8 | 8.5 | 5 | 60 | 10 | 30 | |

采自：邓玉昆《顿钻技术浅谈》

综上所述，井架（天车）是井盐史上又一伟大的创造，它随着井盐生产而出现，也伴随井盐生产发展而不断演进，便由低到高，由小到大，由简单到复杂，经历了漫长的演变和发展。汉至宋代，以双层四脚楼架、引竿（独脚）为代表，从而开创了井架的肇始，为现代井架奠定了“雏形”。明代，天车（井架）正式命名出现，井架由天辊、木架、地辊（“枢轴则管于车床”）构成，架脚由独脚、双脚到三脚“高可以敌楼”（即15米左右），其形制有了新的突破，一种简易井架问世。清代，井架在明代的基础上，又有新的发展，架脚由三脚、四脚到六脚，造型和结构更为完善，井架高度低者20米，高者达40多米，这一时期的井架，由小型井架发展到中型井架。自贡盐场设立的井架，能工巧匠在实践中，运用了现代力学原理，设计科学，造型奇异，结构合理、完备。整座井架可分为三大部分，即天地辊（滑动）部分；架体（支撑）部分及风篾（加固）部分。架脚由六脚、八脚到十四脚，井架高大，结构完善，成为井盐史上的奇观。

井架（天车）是盐井矿山重要的设备，其功能主要用于钻井、修井及采卤作支撑。作为自贡“盐都”象征的天车，随着现代钻探技术的发展，采卤新工艺的应用，古老的木制井架（天车）已完成其历史使命，但它在井盐史上，为我国井



盐的生产和发展，立下了不朽的功绩，同时也为井盐科技史留下绚丽的篇章，因而，应彪炳于我国井盐科技史册。

（二）庞大飞转的地车①

庞大飞转的地车，又名大车，车子等属井盐地面重要的设备之一，以硬木做成，在盐井推卤或钻治作业时，起着收放、升降篾索或竹篾的作用，其特点为车盘庞大，牵引力强，“放车其快如箭，收车其稳如山”。由大口盐井“排车”“推车”、卓筒井采卤“花车”逐渐演进而来。

唐末宋初，狼毒陵井侧旁置有“大车”，用其带动大皮囊升降，推汲井底丰富的卤水。考川北卓筒井采卤花车，其形制和结构简单，车轴（即车心）与地面平行，车轮如盘，轮盘直径1.6米或2.6米大小不等，以人脚踩手搬花车采汲卤水。明代采卤称为盘车。其车轴与地面垂直（同花车相反），车盘加高增大，推卤的牵引力较强，大大超过了卓筒井采卤车。同时，在盘车与天滚之间，专设有“地滚”和“胎滚”，即将盘车上延伸出来的火掌篾，由盘车至地滚之间的水平直线，并通过地滚到天滚一段转折为斜线，火掌篾吊筒再从天滚垂直井口，放入井里汲卤。明代采卤设施重大的改进，起了承上启下的作用。

清代盐井推卤的是巨大飞转的“地车”。这种推卤车，设计合理，结构科学，牵引力更大，功用齐备，直径达5~6米，用牛力转动地车，适用于上千米的深井汲卤。关于地车的造型和结构，（清）吴鼎立在《自流井盐场风物名实说》中作了综述：“又置一大车轮，轮周三、四、五丈不等，名曰车子。其车子竖过担一根，过担中捆厚木板一块，谓之天秤，凿一眼以管车心之上鱼尾。地下用大石一方，名曰海底石，石中凿两寸方眼，打方铁板一块，板心微凹，嵌入石眼。车心下鱼尾即竖于微凹上。车心（即名车轴——作者注）以尺大过心坚木为之，周围凿眼，用木穿衬十六方或十四方。用长大斑竹剖开锤碎，周车子三面，谓之拭篾，放车其快如箭，收车其稳如山。”

地车创制始于明清，其结构已相当完备，制作工艺水平很高。建国后，自贡盐场保存下来的旧井或老井，普遍安置有地车，“凡井必备之车”。据1950年调查和统计，仅川南地区有采卤地车多达6 407部②。为此，据吴鼎立著《自流井风物名实说》等史实记载及盐场地车实物考证，其形制和结构，可归纳分为三个部分。第一，地车固定部分：地车轴心上端控固部分，主要有车过担、天秤、上鱼尾及鹅公架等。车轴心下端控固部分有车山、转珠石（即海底石）、铁印盒（即铁豆腐干）及下鱼尾等。第二，车盘部分：有车轴、穿掌（即穿衬）、子掌（即子衬）、车梆子、腰捎、牛杠（即牛桩）、裙索等构成圆盘。车盘沿周分16瓜（即16格），直径约6米，此种巨型车盘，用于伸缩、出入盐井中的绳索。第三，刹车部分有楠竹“拭篾”（即刹车带、长约15米）、万年椿等，作为掣动控制。

此种地车，其结构合理，转动灵活，牵引力大，调控车速，转停自如，既可

① 清代燊（兴）海井遗址的地车、东源井遗址的地车至今保存完好，为研究地车的结构和功能，提供了实物依据。

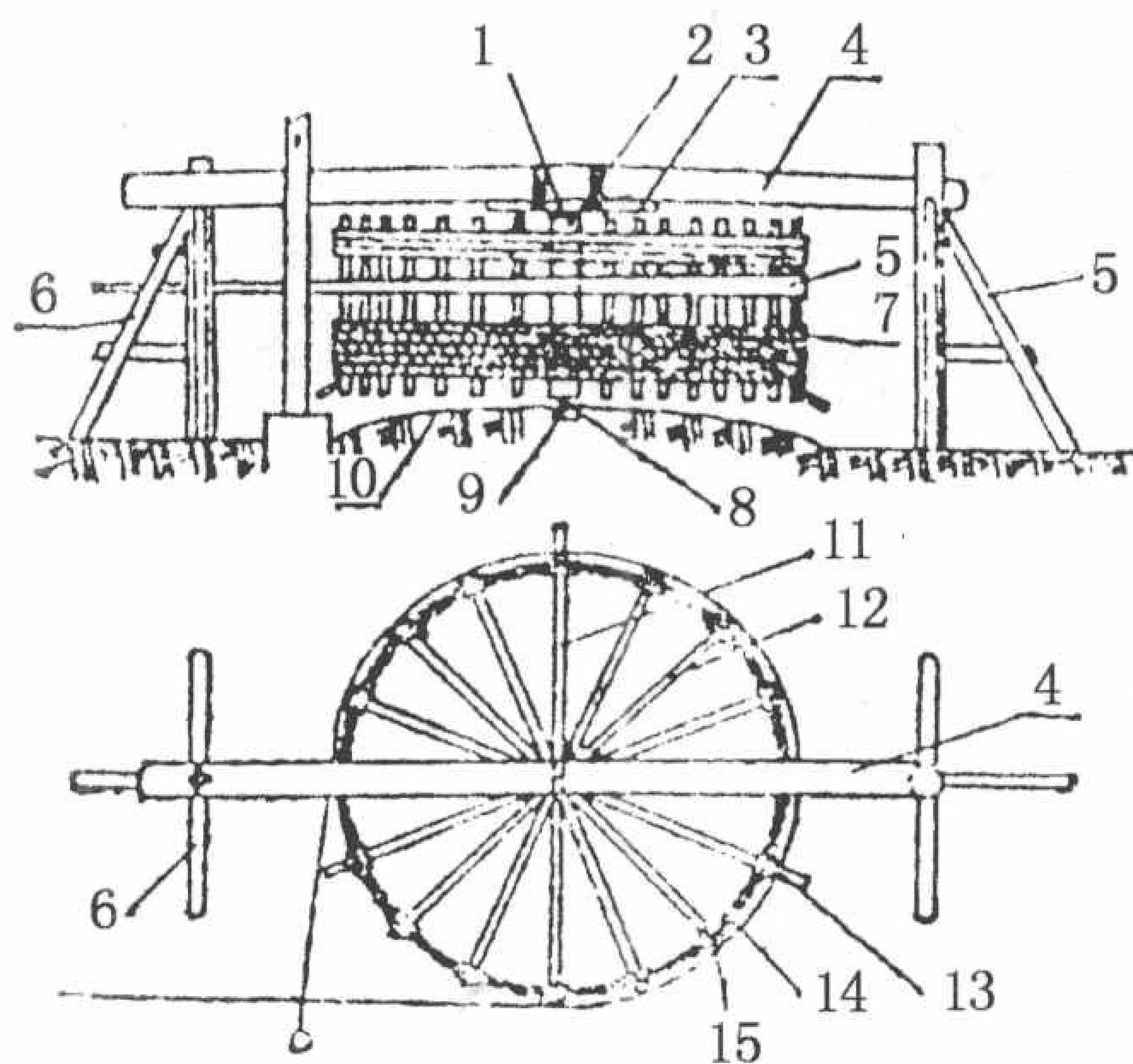
② 1951年1月16日，川南盐务局计划科在《川南盐务一般情况》统计地车为6 407部。（当时川南盐务局，不仅是自贡地区，还包括犍乐地区，下辖11个盐场——作者注）





用推水，又可用作凿治井起下工具。这说明，清代地车制作技术已发展到相当完善的阶段（见图7－5）。而且这种地车延续至新中国成立后。







1. 上鱼尾　2. 车心　3. 天秤　4. 车过担　5. 拭篾　6. 鹅公架　7. 汲卤索
8. 下鱼尾　9. 转珠　10. 车山　11. 穿撑　12. 子撑　13. 牛杠　14. 裙索　15. 梆子

**图7－5　地车结构示意图**

**采自：自贡燊（兴）海井遗址地车　清代**

（三）巧妙精制的汲卤筒①

北宋初，卓筒井开创时，汲卤筒已始诞生，并沿袭至今，有近千年的历史。

入清后，在四川井盐生产发展中，汲卤筒亦有了不断的改进，尤其在自贡盐场岩盐开采区，制作技术最完备。筒的长度和大小视井深度、井径规格及天车高度而定。按整架筒的形制、制作及结构，可分为帽筒、筒身及筒脚子三段。

帽筒，置于汲卤筒的上端。由楠竹筒对剖均分成四片或六片，形如覆手状（俗曰筒爪子），然后用麻纫把竹片捆牢在铁制的筒扎子（又曰筒闸子）上。筒扎子顶端呈椭圆形，俗称“筒鼻子”。作业时，筒鼻子系于篾索上，吊筒入井汲卤。筒扎子全长约0.35米，重10～15千克左右。

① 自贡盐业历史博物馆，珍藏有各种“汲卤筒”的形制和规格。



筒身，置于帽筒之下，筒脚子之上，即介于二者之间，它是全架筒的主体，由数节竹筒，其内打通竹节，首尾“作牝牡笋”，接逗而成。为此，在三段中则是最长的一段，起着盛卤的功用。为提高筒身的质量，在制作时，楠竹选表皮坚韧、光滑无损、肉薄伸直，5～7年竹龄为好。同时，竹筒外表凿现环形凹槽，槽内缠麻，加固筒身，坚牢耐用。这种制作工艺，工匠称为“麻脚杆”。

筒脚子，又曰假脚子，即裁楠竹一短节，安上单向阀门装置，逗入筒内而成。筒脚子具体制作和结构，又分上下两个部分：其上部削薄，略小于筒身的内径，并在削薄处锯成尖形叉四个，名曰“开河口”，即为嵌入筒内的部分。同时，在筒脚子和筒身上接头处钻眼，再穿上竹制“过龙闩”，使合笋接头稳固。

筒脚子下部的制作和结构：其一，打通竹节，使其无底。其二，钻孔穿闩。在筒脚子中部前后对钻两眼，穿上竹闩，称之“胎闩”，另在胎闩之上，左右各钻一眼，再穿上竹闩，谓之“子闩”。亦可平行排列钻四个孔闩上竹闩，名曰“炉桥闩”。其三，置“罗圈”。即在闩下与筒脚子内加竹圈，取名“罗圈”，其直径大小基本与筒脚子内径等同，令其撑住各闩，预防闩落。其四，安置皮钱。所谓皮钱，系切牛皮一小块，制作呈桃形，其尾部钻两孔，称之“螃蟹眼”，然后用“水筋索”穿过这两眼，置于胎闩或炉桥闩的上面，系牢于筒脚子内。其五，增厚加固皮钱。即在皮钱之上，再加半截皮钱一块，用细麻索缝纳牢固，俗曰“背娃娃”。其六，筒脚子外圆，套上1～2道铁箍加固。其七，根据采卤的需要，筒脚子底部的形制，有鸦叉型、平底型、毫竿型等。至此，筒脚子制作即成。

筒脚子底部，安置的皮钱及竹闩，是一种单向阀装置，设计科学，制作巧妙，当汲筒入井推水时，有自动启闭调节井卤入筒的功能。

（四）汲卤动力的变革

在井盐矿山上，无论是汲卤或是凿井，矿山动力是一个极其重要的方面。

自贡盐场的动力，根据生产的需要和发展，采用了人车、牛车及机车推卤三种不同的动力方式推卤。

1. 人车推卤

充当推卤的人，一般是男女青壮年，亦有童工。推卤时，每人的肩上套挂搭背，然后以搭背的尾端扎在身后地车的杠子上，一声号令，就一齐把手扶着前面的杠子，伏下身躯拖着后面的杠子走动，推动地车旋转。浅井每班用50～60人，全井共分三班，总计用150～200人左右。较深的盐井（如岩盐采区燕源、毓琛等），每班平均90～120人，全井用300余人。人车推卤，生活艰苦，条件恶劣，劳动强度大。当时盐场工人唱的《挽子歌》，直接抒发了他们的心声，排泄了对人世间的不平：“天辊辊转，地辊辊圆①，老子推水儿赚钱！大的来监，小的来看，昼夜推着地车转，累得骨碎脚磨穿。”②

2. 牛车推卤

清中叶自贡盐场普遍推广牛车推卤。在盐场矿山动力中，牛车推卤起着主导作

① 天辊和地辊，即井场地面一种设备，今称天滑轮和地滑轮。

② 盐场工人流传的一种歌谣。

用。《富顺县志》（卷五）里述道："汲筒入水，水满筒，则鞭牛转车盘以拽篾，篾尽而筒起。井旁一人击欃鞭，牛者闻声止不拽。车盘有牯牛二至五六牛不等，率三汲一易牛。"《三省边防备览》（卷九）中亦载道：车房内"设备车，左右转旋。或用牛马盘旋如磨，或用人推挽之"。吴鼎立在《自流井风物名实说》中记载较详：盐井"汲水者为纤藤，以竹为之，绕于车盘，以四头牛周行，谓之推。井浅则用三牛，井深则用四牛，井深水多则用五牛"。到清末，自贡盐场常年饲养牛只近三万头，多者达十万头。另在自贡、犍为、盐亭等地，亦有盐井采用骡车推卤。

3. 机车推卤

蒸汽卷扬机车，盐场俗称"火龙车"，属于盐井地面设备类，清末由欧阳显荣等人研制成功①，后经不断改进至完备，一直到今。由机车底盘、传轴、刹车、汽缸（活塞）、卷筒及线盘（包括五寸头）等部件构成。其功率为最小 60 匹马力，最大为 480 匹马力不等。自贡盐场机车的发明和推广，尤其在岩盐区开发中，逐渐取代了牛车和人车，并由一井一机，发展到一井双机乃至一井三机，（不仅用于推卤，而且还用作钻井及修井的升降、起下井工具）极大地提高了生产力，为盐业发展作出了重大贡献（见图 7－6）。

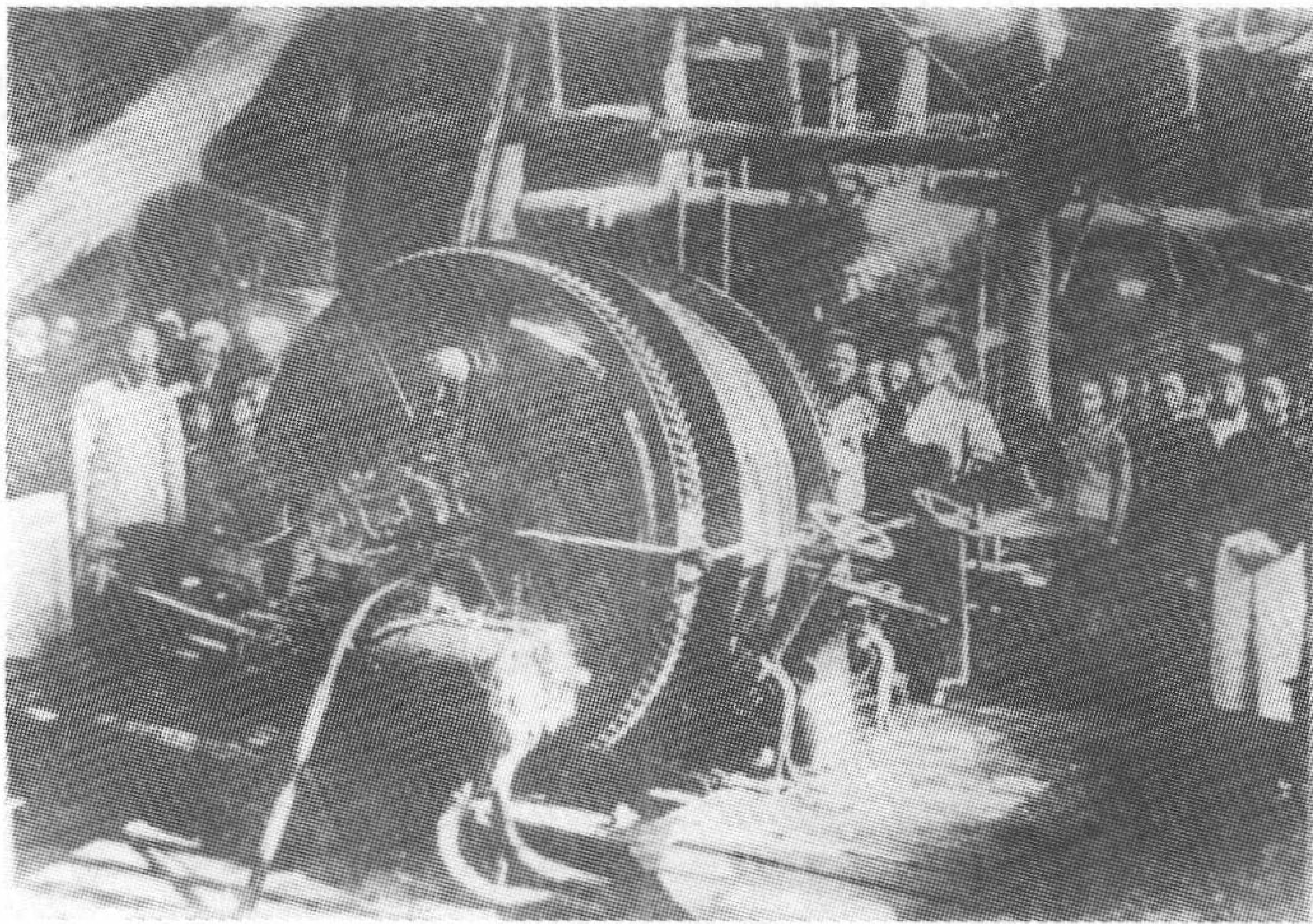


**图 7－6 蒸汽卷扬机车**

**采自：吴炜等《四川盐政史·图册》第三册**

为此，人车推卤，耗用人力多，工效低下，劳动负荷重。牛车推卤，比人车前进了一大步，为自贡盐业发展立下了显赫功绩。机车的发明和应用，极大地提高了劳动工效，同时，减轻了劳动强度，标志着由手工工场向机械化迈进。

## 二、岩盐井采卤工艺

### ——以传统机车推卤为例

前面谈到，盐井地面安置的设备，有高大的天车，巨型的地车，长长的汲筒等，这些设施安装好后，如何把千米深井的岩卤提升到地面上来？这就涉及采到

① 详见本章第三节题三"（一）机车采卤的应用——机车取代畜车采汲"。



卤工艺了。

清光绪二十七年至二十九年（1902—1903 年），富荣（自贡）盐场利用蒸汽机车采卤研制成功①，提高工效“大于畜力十倍以上”②。为此，随着机车采卤的发明，机车推卤工艺就应运而生，从而为井盐矿山开采开辟了机械化道路，作出了重大贡献。但是，这种采卤工艺，从清末至建国初，尚缺乏文献记载。据盐井上退休老工人陈志安介绍：清末至民国初，盐场机车汲卤工种有开车匠、拭篾匠、拘水匠、机车打杂工、司炉工、修理师等。这些技术工种，一直延续到新中国成立初，其称谓未变(《自贡市岩盐井采卤业劳动集体合同》载《自贡工人》第 39 期，1951 年 1 月)。这一时期，在盐井汲卤的机工，盐商（老板）要求会操作机车，完成汲卤筒数（即每班定额数），并做到安全生产，作为技术考核标准，即机工汲卤操作工艺流程，寓于生产实践之中。因此，这种工艺规程，史载不详。

1956 年，盐业职工工资改革时，井上开车、司炉等技术工种，划分技术等级考核标准，同时制出机工操作规程细则，并逐渐完善化。1958 年，自贡市大安化工制盐厂生产技术科编订《蒸汽卷扬机司机副司机汲卤岗位操作规程》（注：适用岩盐井）。这个操作规程，全面总结了传统机车采卤的经验和教训，并把实践经验加以条理化和规范化，以弥补了传统机车采卤的不足和缺失，是岩盐开采的重要文献。以此作为本题撰写的参考文献。机车汲卤，其功效比牛车提高“十倍以上”，因而在岩盐井得到普遍推广和应用，以至全部取代牛车，成为岩盐采卤重要的工艺（见图 7－7），其操作规程于后。

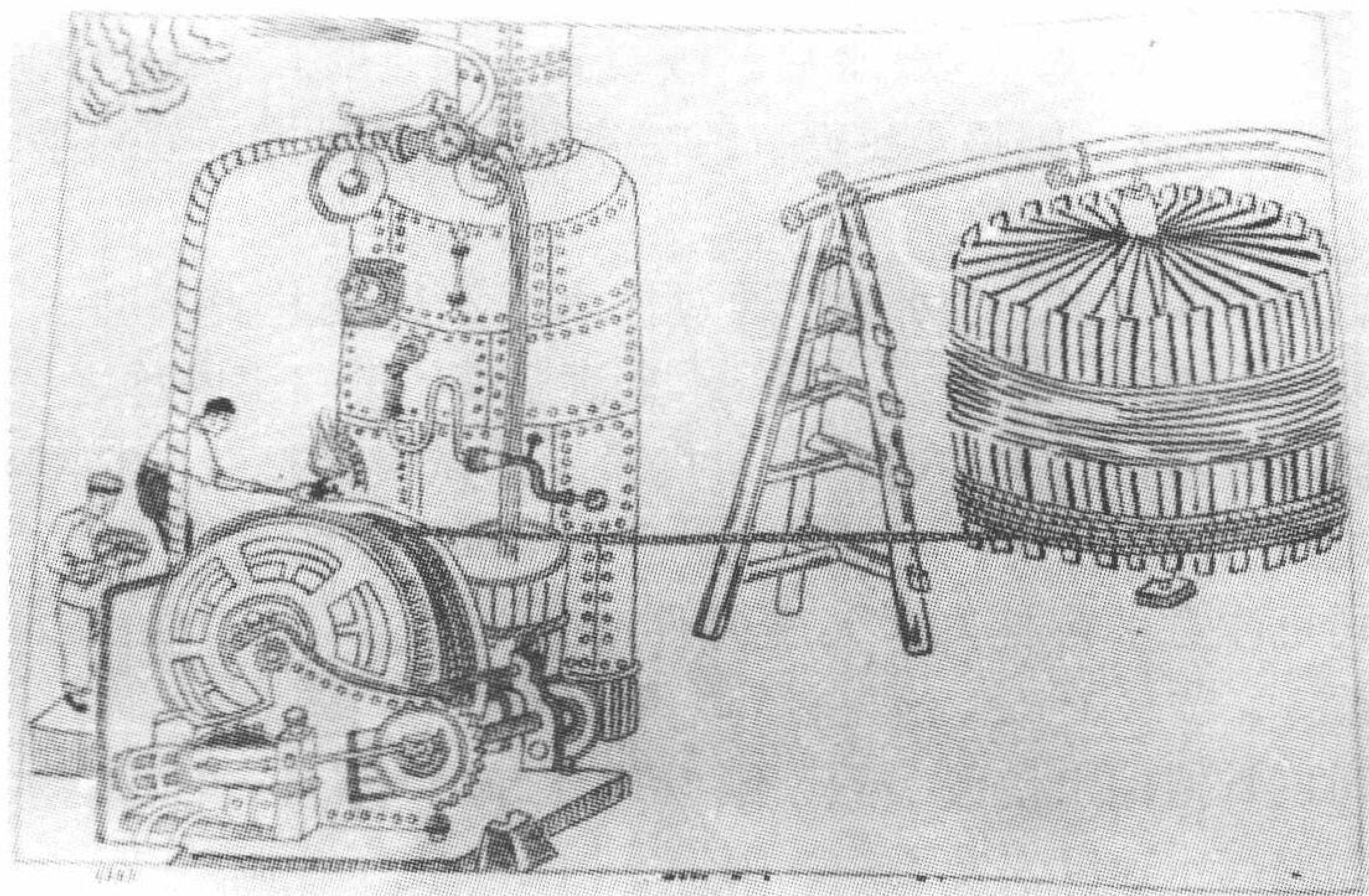


**图 7－7　机车推卤**

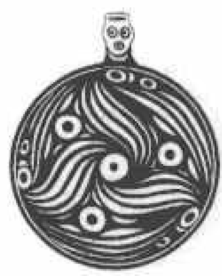
**注：图为四川五通桥盐井单机推卤情景③**

**采自：吴炜等《四川盐政史图册》第四册**

① 详见本章第三节题三“（一）机车采卤的应用——机车取代畜车采汲”。

② 周启圣：《对〈自贡盐场蒸汽机车汲卤概述〉一文的探讨》，载《自贡文史资料选辑》第九辑。

③ 因缺岩盐井机车推卤图，此用五通盐井单机推卤图代替，二者采卤方式基本相同，可供参考。





（一）放回手

盐场俗称“放回手”，即是从地面井口放筒入井达贮卤井段，并使岩卤装满全筒，这一操作程序谓之“放回手”。

第一，松开拭篾（即刹车带，下同）放筒入井。当一井采用双机或三机轮推时，司机（俗称“开车匠”）听到另一部机车正在汲卤提升到地面的八块（即汲筒绳索上捆扎的一种标记，下同）铃声信号，或眼看八块上车时，便开拭篾卡子，先紧死自己一匹拭篾，再松开另一匹拭篾，并检查是否灵活。眼看另一部车望水雀（汲筒绳索上捆扎的另一种标记，下同）上车，再听放筒铃声响，慢逡拭篾一转，约1.0～1.6米，脚筒入井口或过套管后，全部松完，随手回半转。此时，机轮飞转，汲筒似箭入井。

第二，副司机停车后，紧好一号或二、三号车拭篾，便立即到二号或一、三号车掌握拭篾，并于八块出车前到达。

第三，逐步收拭篾。放时，正副司机开放相互扣手，两匹拭篾吃平，八块出车，车桶放快时，拭篾收紧有力，同时集中眼力，看过江速度和摆动情况，及车桶内丝的层数和有无夹口，并掌握丝的层数及过江速度逐步收拭篾。

第四，点水。所谓点水，即推筒入井（脚筒）刚接触水面位置，故名。司机要经常掌握井里水位，并根据水位的高低，掌握丝的层数或搧水缨记，特别注意点水，回手放至车桶内剩下约半层丝时，再紧一手拭篾，做到缓慢点水，不刹水位，以免发生皱筒皱丝事故。

第五，喂水。即井内卤水从脚筒皮钱（一种单向阀门）缓缓灌入筒内，至灌满全筒为止，称之“喂水”。点水后，收拭篾1～2瓜，掌握均匀喂水。如过龙（即接头榫）多的汲筒，则喂水更慢，或喂水时，如遇哽塞，便乘手就推。

（二）搧水

喂水后，筒内淡水多，咸水少，通过搧水（汲筒在井内来回上下往复运动），不断把筒内淡水由帽筒口排出去，至咸水盛满全筒，井口工匠称之“搧水”。

第一，搧水绑索挂到水钩时，副司机紧一手拭篾，打杂工挂好钩子后，缓缓游伸欠索。过江钢绳现松时，吃紧拭篾，使过江绳拉伸绷紧。

第二，司机注意水钩挂好，欠索游伸时，双手打开开关约一瓜，启动搧水，随即回小半瓜。

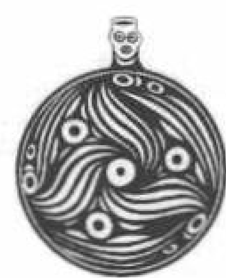
第三，司机掌握搧水快慢一致，眼看过江和牛打脚必须现抛物状，搧至中途磅力加大。如遇搧水速度快慢不一，用手掌拍开关把子，调整开关的大小。

第四，搧水时，司机双手不离开开关把子，副司机双手掌握拭篾盘，并扭紧得力，两眼注视绑索和过江。

第五，搧水脚数多少，以搧翻卤水为准（即脚筒卤咸与帽筒卤咸一致）。搧时，开放均须记住脚数（汲筒在井内上下往复运动的次数，俗称“脚数”）。

第六，司机在停推时，随时到井口与勾水匠联系，并根据卤咸的变化，及时调整脚数。

第七，每筒水至最后几脚时，副司机一手掌握拭篾盘，一手抽开插销，做好关拨轮的准备。



（三）关拨轮

第一，一般搧水至最后两脚时，司机关一下车，副司机眼看水五寸头和拨轮的转动，当五寸头现爬坡或刚下坡时，看准莲花瓣，一下关拢，如转得快，再关第二次。在刚关上时，司机开点气去接应。

第二，拨轮未关拢，或挂到齿尖，副司机招呼司机暂缓起动，并紧住拭篾，另叫打杂工匠撬车，蹬开重关上拨轮。

（四）启动

汲筒在井底里装满咸水后，地面机车开始启动。

第一，副司机关好拨轮时，随手松开拭篾①，机车启动。司机听拨轮声关合后，打开开关半转，随手回一瓜，看搧水钩落地，帮占上车，按规定开关转数逐渐开完，同时，松完拭篾，再窖拭篾油。

第二，启动时，如几个井的蒸气连通使用时，须掌握本井启动前，开半转启动。如启动在后，可开大半转至一转，才够磅力。

第三，机车停推在半小时左右，须打开缸上眼子放掉死水，同时打开开关少许，活车排尽死水后再启动。

第四，启动时，机车堵气，立即打开油盅放气。如放不出，另叫打杂工顺撬，顺撬还不行，又倒撬，蹬开拨轮，再活车后启动。

（五）推汲

所谓"推汲"，即机车带动钢绳和汲筒，从井底提升到地面。

第一，推汲过程中，开放司机和副司机要坐在固定位置，耳听机车运转声和铃声信号，眼看车桶和过江。如出现丝未排平，便立即比画手式，叫打杂工拉平过江。如丝要跳出绕盘，司机当即停车，副司机紧住拭篾，回两转再推动。

第二，推汲中，司机手不离开关把子。

（六）收车与关车

第一，逐步收车。根据车速快慢，便决定收车早迟。在正常情况下，小井在紧车或三至四层丝时，大井在八块铃声响及八块上车前，始逐步收车半转，八块到地辊时，司机站起来，当八块上车至望水雀到地辊时，逐步收车，收至剩下约大半转到一瓜，同时包一手拭篾，到剩一转左右为止。

副司机听八块铃声响，看到八块来时，站起来掌握拭篾盘。如看到司机未站起来，立即招呼，八块上车后，包一手拭篾，吃紧有力，并回半转，望水雀进地辊时，逐步收拭篾至剩约一转，并注意车速是否减到掌车速度，如车速太快，立即喊司机停车。

第二，关车。望水雀到胎辊时，逐步收一点，望水雀距车桶约2米时，用力关车，大井在关车后，须抢一手堵一口气。同时，紧死拭篾，副司机注视望水雀拢车桶时，看准高矮，紧死拭篾，预防发生故障。

第三，停车后，高低不当，静听铃声信号，按一逡二稳的规定（即井口铃声拉响一次，推筒向下移动，拉响二次，推筒向上移动），进行慢逡慢稳，到望水雀

---

① 盐场俗称"拭篾"，科学名称为刹车带。

位置适当后，立即紧死拭篾，在拭篾盘上加上卡子卡牢，并用手撑住，眼看过江闪动，井口沟卤后，才提开木加卡，蹬开拨轮，上好插销，进行活车窖油。又准备重新放筒入井推汲，按上操作程序，如此往复。

**三、汲卤中事故消除的方法及安全注意事项**

（一）汲卤中可能发生的事故和消除方法

第一，望水雀松散移位，停车时扎好。八块散开移位，放至八块出车时，逐步紧死拭篾，包扎后再放。

第二，放回手时，对于特殊井哐的井，必须控制哐口位置，从车桶内丝的层数和颜色，或过哐缨子或搧水记等几种记号中掌握一种，进行过哐操作，在镔筒要拢特殊哐口之前，两匹拭篾必须相互吃平，速度快慢一致，过哐时平稳地放过去，以免捞哐。如要拢哐口，而速度过快或拭篾不平，可立即停车后，再按上述操作进行。

第三，搭丝、换筒、宰筒、打过龙等，放回手前须找准高矮，上喊下应清楚。

第四，推放中，熄灯或开、放中若有人眼内溅入盐水、油泥、灰渣，立即关车，并共同逐步紧死拭篾。

第五，放回手一匹拭篾失灵，在二紧车未出车前，另一匹拭篾缓缓收紧，至点水时，两人搭力，紧死拭篾；在二紧车已出车，立即逐步紧死拭篾。

第六，丝起堆堆、夹口，须缓放，如放不出，须停放。双推时，由司机稳起来，通知井口逡大口理夹口，车推稳两转起来，有小眼内打挽子，拉丝理夹口。

第七，另一部车望水雀上车桶时，井口坝已扯响放筒铃，如第二朵望水又上车，井口坝可能已掀拦水板，此时不能松拭篾，如已松拭篾，应急刹车抢救。

第八，关车时，筒浪高，另一部车又未放回手，必须与井口联系清楚，先放哪一部车和后放哪一部车的筒。

第九，起大风时，缓松拭篾，大井慢放脚筒入井口，小井慢放至冒筒入井口后，才松完拭篾。

第十，放回手时，井内走岩封哐或捞哐，及过江现软、现蹬和喂水哽塞以及栽灯竿，必须慢推起来，通知拘①卤工检查丝筒有无弯弯、皱口、断口，不能稳伸就放。

第十一，放回手时，天、地辊跳架，须缓缓逡去，速度减慢后，再打挽子后提丝。

第十二，掌握推筒的变动，杜绝因逡筒错误而栽灯竿：①甲（乙）筒脚筒出井口后未听放筒铃，乙（甲）筒不得放筒；②车上推筒有变时，司机即停推到井口坝当面联系清楚，并须得到对方的答复，严禁中途喊话；③井口坝推筒有变，拘卤工来联系，问清楚后，听铃声放筒。

第十三，使用井车通话器，要做到上喊下应，听话清楚，如不清楚，应走拢去联系。

第十四，推放中，听紧急长声铃，立即停车，紧拭篾，等井口坝来联系时，

① 见本卷第六章第七节三“井盐业工匠技术等级的考核标准——以传统钻井技术关键工种为例”。



问清楚情况，听铃声操作。

第十五，操作过程中，如铃声复杂或未听清楚，立即停车和紧拭篾，到井口坝问明，再进行操作。

第十六，放回手时，遇到井内走岩卡筒或吊脚子、斗斗，可慢逡三次，刹不穿或推汲时走岩卡筒，推不来时，反映给井务员及工段长决定措施。

第十七，推汲时出现断筒、断丝、机车声音不正常，或零件断折和松退脱落，或生气阀兰和绊根爆脱等故障，蒸气弥漫看不见，立即停车和紧死拭篾，整好再推。

第十八，开关失灵或发觉可能失灵时，立即停车和紧拭篾，同时打开油盅，并叫打杂工或副司机抢关保险阀门。

第十九，起推或推汲中，过江现轻、现软、现扯，或过江跳坎，机车空跑，速度加快，应提早收车，慢慢推起，并通知拘卤工检查。

第二十，推汲一部车八块铃声响或八块来时，大口内应停止稳筒。

第二十一，机车主要配件如齿轮、钢带轮、拨轮等筋裂，或虽补好但仍有问题，在推放中，必须适当降低速度。

第二十二，洗炉时，如打杂工到锅炉铲炭渣，停推一部车的司机协助拉过江、挂钩及窖油和检查工作。

第二十三，耽延达半小时，必须通知打杂工打开两边汽缸卡放死水（回气安装在缸面上者，停15分钟以上即须放死水）。

第二十四，班中解手，须找熟手代理，并须推（放）完一筒水后，才进行交换，不得中途交接，以免记错转数，如无人代理，双推时可单推，单推可暂停。

第二十五，搧水时，发现鸡脚杆，欠索断落，或水线盘破落，或鸡脚杆咬住，立即关紧开关，同时紧死拭篾，并关好拨轮，采取相应措施补救，如鸡脚杆折断后，能杵着地板，必须将断的鸡脚杆取下才起推，水线盘破落移在侧面起推，水线盘销子落，打好后起推。

第二十六，搧水时，遇冒筒、横销、脚子、斗斗等脱落，或搧水时突然现轻，立即通知副司机关好拨轮，慢推起来进行检查。

（二）安全注意事项

第一，机车推汲时，司机不准对正大齿轮坐。

第二，活车及推汲时，禁止摸或换机车上各种零件及紧牛尾巴冒子和加减挖丝。

第三，关拨轮时，人要站在拨轮叉子后面，不要挨着站。

第四，活车前先看机车四周附近，有无人挨着车子站，活车后，向打杂工打招呼，以便进行检查和窖油，禁止活车检查和窖油（规定例外）。

第五，加绊根整阀兰时，要与撬车的取好联系，要撬或要放时须打招呼，同时在招呼前，手要离远点。

第六，窖拭篾油，人站骑马式，位置选好，禁止站在汽缸上，卤井必须等水帮占上车后，再窖拭篾油。

第七，吊换拭篾时，先检查吊索是否完好，要捆牢实，工作中要互相取好联

系，禁止站在车子上吊换拭篾，吊起后人不能站在拭篾下面，拉拭篾时，可用铁钩，禁止手掌。

第八，割皮子、占头、润子时，刀背向手，手要隔远些，应自扎自割，割时刀不能提起。

第九，搭丝时钢绳应放成大圈圈，捡丝圈圈时，人要站在圈子外面，必须拢一个捡一个，拉丝时用垫手握稳，一手一手的拉，稳丝时，用铁钩挂着稳，不准用手握。

第十，推放时，禁止走过江下面过。

第十一，筒推过水折子，要井口坝喊逡才逡。

第十二，井口坝沟水时，拭篾要紧死。

第十三，井口坝开挽子时，要上喊下应，开挽之前，紧死拭篾，开后喊松才松。

第十四，工作时必须穿工作鞋，禁止穿木板鞋。

第十五，工作服要合适，袖头、裤脚要扎好，并要戴帽子。

第十六，严格按照操作规程的规定进行操作。

第十七，工作中不许擅离工作岗位，未经工段长许可，不得任意将岗位工作交与他人，严禁越工种操作。

## 第三节　自贡大坟堡岩盐体采收率创世界奇迹的秘诀

大坟堡岩盐体，是自贡也是我国最早被发现、开发及利用的一个深层盐体。这个盐体的发现、开发及利用，不仅为自贡盐业的发展和兴盛作出了重大的贡献，而且亦为我国勘探和开采深层固体盐矿拓宽了视野，创立了水溶开采法，从而，引起人们极大的关注。

该盐体，于1825年至1891年先后被初步发现，仅少部分开发和利用。1892年，进一步发现，并开始了大规模的开发和利用。先后长达170年多的历史，总计钻井198眼（其中报废和未利用的井有26眼），盐层埋深900～1 170米，圈闭面积1.2平方千米，钻厚0.5～20.7米，一般厚4～6米。品位高的NaCl含量达95%以上，累计开采岩盐903.08万吨，采收率高达92.53%[19]，创造了世界岩盐钻井水溶开采奇迹！

提高岩盐采收率，涉及诸多方面，如矿山地质条件、合理开发方案、井位布置、钻井质量、盐井管理、开采工艺等。但是，就开采工艺方面来讲，井组或多井连通开采，是提高采收率的一个很重要的条件。国外，1887年实现了单井对流开采，与我国单井水采基本同步。20世纪50年代末，才实现了井组连通开采，并开创了多种岩盐钻井水采方法，诸如，水力压裂法，油（气）垫法，定向钻井、爆破、双井浸析等，造成井组连通开采。但是，一个多世纪以来，西方无论采用什么方法，采收率都较低，最大开采率为50%左右[20]，与我国大坟堡盐体采收率高达92.53%相比，不可同日而语。国内外专家来自贡参观或考察，都感到十分惊奇！认为自贡岩盐开采定有什么秘诀。是的，秘诀是有的。智慧聪颖、勤劳勇敢



的盐都自贡人民，在岩盐开采实践中，从地下盐体到地面开采手段，不断探索和创造了一套完备的开采工艺，取得了高咸、高产、高效，因而，采收率创造了世界的奇迹。

**一、多级岩盐溶腔连通开采是提高采收率的有效途径**

所谓多级岩盐深腔开采，即是岩盐溶腔扩展变化，由小到大，由少到多，且多级连通，再以多级溶腔连通开采，是提高采收率的有效途径。

综观大文堡盐体的开发史，是一部多级岩盐溶腔连通开采史。据生产井连通的多少、溶腔的大小，咸量的高低、产量的变化等，大致可将岩盐溶腔划分为四级：

一级岩盐溶腔开采。以单井生产，自渡自推，缓慢地溶化岩盐，形成一封闭式的溶腔。随着溶腔的不断扩大，然后两井或三井自然相互连通开采，以一井注入淡水，另一井或两井进行生产，即为一级溶腔开采。如1892年，新发现岩盐的发源井，自渡自推三年余，至1895年末，与相距140米的天全井相互连通开采，以发源井注水，天全井生产。这对井组，为大坟堡盐体和我国岩盐矿床创建水溶连通开采法开了先河。此后，井组连通开采，在大坟堡盐体如雨后春笋发展起来，1900年至1901年间，起复和加深的一生、初生、长福、全兴、成海、同兴及恒海等井，也是先以自渡自推，而后井间相互连通开采的。一级岩盐溶腔开采，从一个封闭式的溶腔到两个溶腔连通开采，卤咸高，产量大，采出多。一度时期，可改自渡推汲为直推（又曰推活水，即捞筒放拢井里卤水层位置，不经搧水的操作，只要卤水贮满筒，减少搧水时间即推出井口，谓之直推——作者注），不仅在产量上获得显著的增加，而且生产日趋正常，更减少走岩封哐等天然事故，给生产的发展创造了极为有利的条件。以万福井为例，该井在牛推时，热天每日可推卤40~50筒，冬季最高日推80筒，月可产卤二千担（折盐62吨）。因（直推）卤源增大，该井改用骡车，以每匹骡子价银80两，购骡120匹，专作汲卤使用，热天每日推卤仅为60~70筒，冬季增至120筒，每月推卤达到三千担（折盐93吨），增产50%[6]。但是，直推生产时间稍长，随着咸水层缩减，也要搧推。

二级岩盐溶腔连通开采。是在一级岩盐溶腔的基础上，由于盐层逐渐的溶化，溶腔的扩大，井组之间连通，形成井群开采，以一井或两井注水，多井生产，溶腔各成体系，“至清末的时候，前后20年间，在杨家冲、大坟堡、周家冲、扇子坝等地，就发展到四十余眼井之多。”[6]1902年至1916年，开采形成三个溶腔，构成杨家冲、周家冲生产区；进盐坝、马草山、新店生产区；钓鱼台、扇子坝生产区。三个生产区，由北到南，遍布整个盐体。

三级岩盐溶腔开采。这时，由于井群与井群之间的连通，岩盐溶化迅速，溶腔拓宽增大，产量猛增，盐体由各溶腔相互连通后，基本形成一个大腔开采，“整个岩盐大哐（腔），已基本化穿，在金龟山的积荣、神涌两井渡水，即可供给杨家冲、大坟堡、周家冲一带周围数里的春海、万福、生洪、源流、隆盛、同心、同盛、同济、同源、同涌、同海、祥桢、金祥、全兴、天宝、海龙、源生、初生、泩生、珍海、流海、上海、裕成、荧海、丰旺、吸涵、炎荣、达泉、发源、涌源、天心、恒生、开财、复元、复咸、德福、丰泰等三十七井”[6]生产。后通腔井又增

加到93～122眼，生产井数达64～71眼。

四级岩盐溶腔连通开采。随着社会的进步和生产的发展，盐产量大幅度的提高。为满足盐化工生产的需要，必须开辟和增加新的卤源，因此，在淘办和利用一批旧井的同时，又新钻了一批大型岩盐卤井，如大$_{一}$、大$_{四}$、大$_{五}$、大$_{六}$、大$_{十四}$等井。这些井的生产，对于增产卤源起了重要的作用。由年产原盐16万吨，提高到$35.7\times10^4$吨，提高2.23倍。之后，大$_{一}$、大$_{三}$、大$_{四}$、大$_{六}$、金海、三生、毓琛等一批井与大溶腔连通。自此，大坟堡盐体统一汇成一个大溶腔，由盐矿北部注入水，南部集中井群连通开采（见图7－8）。盐矿历经长期的开采，盐井卤咸自然下降，这标志着整个岩盐矿体已经采空，仅矿体的边界、死角尚残存极少部分，据储量计量，岩盐残存剩余储量为73万吨，仅占地下盐矿总储量的7.47%。为此，应用多级岩卤溶腔连通开采，可以充分地采汲地下岩盐矿产资源，直到将整个盐矿采空，采收率达92.53%。

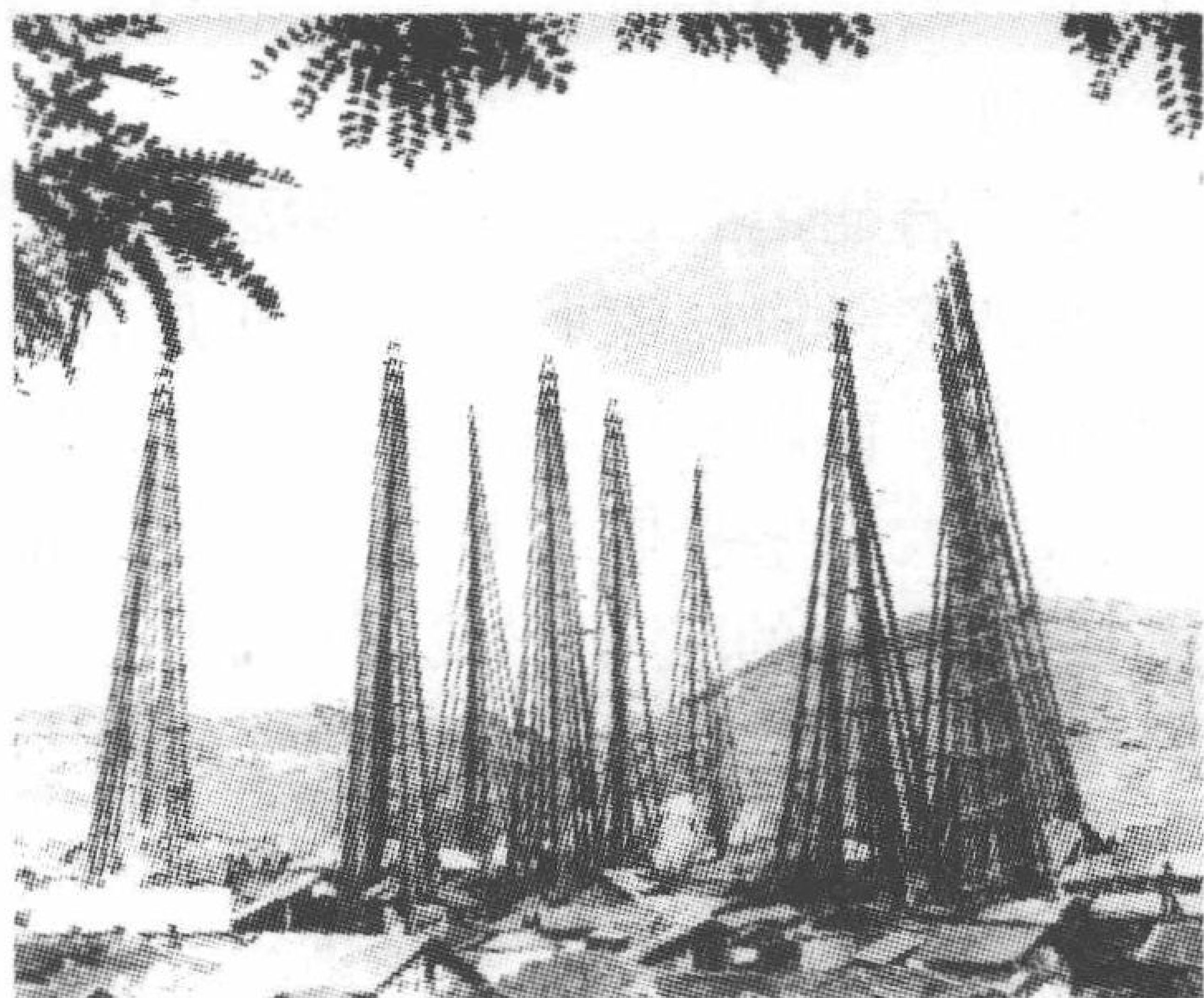


**图7－8　自贡大坟堡盐体井群采卤**

## 二、利用盐体北南自然高差汇集咸卤是提高采收率的重要条件

### （一）利用盐体标高差和卤水比重原理汇集咸卤

大坟堡盐体为薄层、盐纯、盐体小、呈人足形。由于东南翼地下断层的切割，将盐体分成北南两段，其北段一般盐层埋藏较浅，海拔标高为－570米～－620米，厚度为0.5～6米，倾角平缓，仅几度；南段位于地下构造陡急带，故地层倾角陡峻，至直立（90度），盐层增至最厚（钻厚）20.70米，埋深海拔标高－723～790米。由于盐层北薄南厚、北高南低，北南高差－153～－170米，自然形成由北向南倾斜。所以，有利于咸水由北向南流入和汇集，这为推汲咸卤，增加生产能力，提高盐矿的采收率，创造了重要的条件。

由地面人工向地下盐层注入淡水，并将固体岩盐溶化成液体盐水（称“人工卤水”），从而为开采创造了先决条件。而机器提捞搧水的发明，又为岩卤推汲提供了手段。但是，推汲岩卤的咸与淡，决定井里咸卤的多与少。按一般咸量变化规律，盐井在生产的初期，推汲的卤咸稍淡；中期卤咸；晚期卤咸自然下降逐渐淡化，直至井废。大安盐体由北向南自然倾斜，北部注入淡水溶化岩盐成生岩卤。因岩卤比重的分异（不同浓度的岩卤，具有不同的比重），咸卤有利于从北往南汇集，所以形成南部集中井群开采的布局（见第348页表7－2）。于是，一些井（如，同福、怀远、洪恩、正雄、天佑、下一兴、洪均、大$_{一}$、大$_{六}$等井），不仅能推汲本井（控制岩盐储量）的咸卤，而且也能采汲本井以外流入的咸卤，盐场称过腔水或过腔咸。故盐井推汲时间长，咸量高，累计采盐多。例如，大$_{六}$井，按井距控制岩盐储量14余万吨，但是，该井总计产盐高达68.6万吨，超出可采储量的六倍之多，成为最高产量的岩盐井。据统计大坟堡盐体投产100多眼老井时，其中



发现不少盐井生产时间长达 10 年、20 年乃至 30 年。采出量大大超过井间控制储量的一至五倍不等。究其原因，这都与盐体自然高差即盐体高处注水，低处生产是分不开的。此外，自贡郭家坳岩盐体，仍利用了盐体高差生产。该盐体，沿长轴北东高至南西低，由北东向南西倾斜。先后钻生产井、探井见盐十眼，其中达德井累计产盐量达 31 万余吨。该盐体采收率亦高达 60%，仅次于大坟堡盐体。现在盐矿，如，自贡长山盐矿，也利用盐层高差和卤水比重的差异，在老区大溶腔生产，取得了显著成效。具体方法是根据不同浓度的卤水，具有不同比重原理。在连通生产井中，要想增产升咸，必须安排好出卤井，即要选择一个井组（溶腔）中，位于地层倾斜下方的井出卤，出卤点的标高低；注水井应位于地层倾斜的上方即与生产井反向，保持注水井与出卤井间，有一定的标高差和井距进行开采，获得很好的经济效益。其特点是：在原有设施的情况下，不新占土地、投入少、产出大、见效快、卤咸稳、增产连续，提高产量达 44% ~61% 左右[21]。

**表 7－2　南部矿区井群开采主要井名**

| 井址 | 井名 | 井别 | 矿层标高（米） | 岩卤浓度 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 波美度 | 比重 | |
| 北部矿区 | 发源井 | 注水井 | －569.93 | 淡水 | | 发源井、多福井、双福井，原为生产井，后改为注水井 |
| | 多福井 | 注水井 | | | | |
| | 双福井 | 注水井 | | | | |
| 南部矿区 | 一六井 | 生产井 | | | | |
| | 同仁井 | 生产井 | | 20.5 | 1.1637 | |
| | 正雄井 | 生产井 | | 18.1 | 1.1426 | |
| | 五福井 | 生产井 | | | | |
| | 洪恩井 | 生产井 | | 17.2 | 1.1345 | |
| | 怀远井 | 生产井 | | 15.6 | 1.1205 | |
| | 下一兴 | 生产井 | | 19.4 | 1.1545 | |
| | 大$_{一}$井 | 生产井 | －723.51 | 23.9 | 1.1973 | |
| | 三生井 | 生产井 | －728.55 | 24.7 | 1.2053 | |
| | 大$_{六}$井 | 生产井 | －747.30 | 24.6 | 1.2043 | |

**采自：大安盐厂：一六、同仁、正雄、五福、洪恩、怀远等井《井矿卡片》记载**

（二）选好注水井

在大坟堡盐体生产过程中，无论是一井注井，另一井或多井生产，或以多井轮换注水，井群生产，而注水井自始至终，不可缺少。特别是在岩盐开采的后期，选好注水井的位置，对于溶化剩余和残存部分的岩盐，以增加岩卤的咸量和产量，则是提高盐矿采收率很重要的环节。

据张开铭等《岩盐发展概况》等史料记载，大坟堡盐体自发现和开采，至清宣统末年，岩盐大腔已经溶化通。到了国民初年，整个岩盐大腔化穿。我们聪颖

的祖先，在长期生产实践中，探索出了地下盐矿开采的规律，其中秘诀之一，就是选好注（渡）水井，第一，注水井最好选在有岩盐的地段，或靠近岩盐的地段；第二，注水井位置应选在岩盐倾斜的上方，生产井位于岩盐倾斜的下方，即生产井盐层标高比注水井低；第三，注水井技术套管下至盐层顶板，注入的淡水通过盐层溶盐成卤流入生产井，不致淡水在盐层上部通过地层裂缝流到生产井而降低卤咸；第四，注水井不能固定一口，要选用多口，以便轮流注水，交叉注水；第五，选注水井注入的淡水量，与生产井的出卤量，保持一定的比率关系，根据盐化生产对卤咸的要求，如生产井卤咸下降，则注水量要适当控制。

注水井是盐矿开采中的重要环节，直接关系到生产井卤咸的高低，产量的大小，乃至决定有无生产价值。“各井合哐（腔）后，渡水远近亦可影响咸量多少，如距离渡水较远，而又不当过道，则往往卤咸高，而维持推时较久；反之，如当渡水过道，则咸被水洗，流往他处，虽新凿之井，亦可立时变淡。如，大正海井，凿至岩盐层已见功，并未合大哐来白水，靠邻近的来龙井渡水，以维持推汲，卤水涨至百余丈，深井浅推，产量甚大。但不久后，岩盐层突然与大哐融化贯通，不但水位低落，而且又当渡水过道，既不能推汲咸卤，加之井哐①下节歪斜，深推常发生事故，终至停废。”[6]

大坟堡盐体，以断层切割为界，分为北南两部，发源井位于北部扬家冲地区，加深中进一步发现岩盐。于是，这个盐体开采亦是从北部开始，逐渐向南扩展，高产期大型井群集中在盐体南端扇子坝、硐口井一带。但是，一般注水井始终选在北部生产老区，而且远离生产井，采用多井轮换、交替注水，改变流道，控制水量，淡水从各个方位，由北往南沿途溶化、洗刷剩余岩盐，从而对挖掘盐体的潜力，提高采收率十分有利。据调查和不完全统计，大坟堡盐体的开发，相断选用的注水井（包括短期的注水井在内），约 30 ~ 40 眼（如发源井、济云井、长海井、怀丰井、长福井、积荣井、五福井、来龙井、兴发井、神涌井、双福井、多福井、杨一井等）。

由此可见，大坟堡盐矿，在钻采过程中，尤其在开采的后期，利用盐体的自然标高差，选好注水井，为实现高咸、高产、高效，以达到提高采收率，都是很重要的条件。而且对岩盐矿床的开采，即老矿山的挖潜和新矿山的建设，都有普遍的意义。

## 三、盐井设施的变革是提高采收率的重大措施

### （一）机器采卤的应用——机车取代畜车采汲

#### 1. 蒸汽机车研制成功

自贡盐场，盐业历史悠久。但采卤方式落后，长期以人力和畜力作动力，大车（绞车）升降、篾索牵引、竹筒盛卤，因此，工效低。随着盐井的加深，井经的增大，汲筒的增大和加长，盛卤容量的增加，采卤负载的加重，为此，畜车汲卤，非常困难，不能适应生产的要求。同时一到炎热的夏天，如遇牛骡的中暑或瘟疫的流行，死亡甚多，往往造成井停业歇，给生产带来巨大损失，于是机车汲

① 哐与腔，在盐场通用。



卤由此应运而生。

19世纪中后期，机器制造业开始在我国兴起，其中蒸汽卷扬机车和锅炉的应用，为盐井开采技术提供了有利条件。于是，清光绪时，已有人倡议：四川盐井牛车汲卤，如改用蒸汽机车采汲，可获得大的增产。当时，重庆海关税务司霍伯森著《重庆海关1891年（光绪十七年）调查报告》中说，四川“食盐生产可由采用蒸汽动力和机器而大增（产）”[22]。自贡盐场机车汲卤的倡导者、组织者和实践者确是欧阳显荣，系四川铜梁人，以经营花纱生意为业，又曾经来自流井办过盐井。于1894年因一次出差到汉阳（武汉），见到长江码头上起重机装卸货物，便受启迪，“联想到以蒸汽作为动力，利用起重机的原理，使用钢绳推汲卤水，以代畜力。”[23]他的设想，符合客观和实际。但机车汲卤，涉及矿山的开采、机械图的设计及厂家的制造等方面，从方案的研究、决定及实施，历经了较长时间，大约在1900年至1901年间，他们配合汉阳周恒顺五金工厂，研制成功了第一部汲卤机车。1902年前后[24]运抵自流井石星井试推，由于机车的设计和制造技术不够合理，所以，机车事故甚多，生产效果不佳，尚未达到预想的目的。于是请制造厂家派人专程来自贡，现场实验，经多次改进，初获成功①。1904年，欧阳显荣筹建了“华兴公司”，专营机车汲卤业务。机车汲卤试制成功，信息迅速传开，引起了厂家和盐场各方的关注。随之，汉阳机械厂周恒顺等为了拓展业务，主动上门服务，倾听用户意见，再修改设计图，制造新机。“重庆协兴和钱庄董镜莹等集资生银一万两组织协成公司向该厂每部3 000两购买四部机车，分别放推下一兴、丰旺井、恒通井和另一眼井，推汲能力日达200筒，并有超额，井推双方均获厚利，特别是推方年利润高达100%左右，于是，引起了推方的群起直追。”[23]岩盐井普遍推广机车汲卤，黑卤井也纷纷仿效。自此，自贡盐场井盐生产出现了一次大飞跃，矿山开采技术步入了一个新阶段（关于蒸汽机车的形制，见图7－6）。

2. 机车搧水（咸）采汲——机车的改进

大坟堡盐体深埋地下，呈固体状态，全靠地面人工注入淡水（俗称白水），将固体岩盐溶化成岩盐卤水（简称岩卤，以此区别黄卤和黑卤），然后进行提捞生产。根据井里岩卤的咸淡不同，即岩卤比重的分异，井里出现上淡、下咸的情况。盐场工人有句名言：“淡水浮上，咸水沉底。”一般以含盐井段为高：“不唯淡卤各井，井腔内渡水水位含盐不多，无继续生产价值，被迫停推；就是所谓当时能够继续生产的咸卤各井，考其渡水水位八丈上、下之间，咸度已迥然不同。水位下层虽然保持咸量3.6两，但上层仅有1两乃至1两以下，而下层咸水位置，又深浅不同，有的还能保持一丈多的咸水容积，有的则具三四尺。”[6]由于当时岩盐井的

① 富荣盐场蒸汽机车研制成功年代说法不一，主要有相笃行等：《自贡盐场蒸汽机车汲卤概述》（刊《自贡文史资料选辑》第三辑）认为“1912年（民国元年）”第一部机车在永兴井试制成功。周启圣：《对〈自贡盐场蒸汽机车汲卤概述〉一文的探讨》（刊《自贡文史资料选辑》第九辑）提出“自贡（富荣）盐场开始试办和使用蒸汽机车汲卤的年代，是在光绪二十三年至二十五年（1897至1899）”。钟长永：《富荣盐场的机车汲卤》（载《井盐史通讯》1981年总第8期）云：“机车制成后，大约在1902年前后运到自流井石星井试用。”作者综合各方面的史料则认为：富荣盐场第一台机车的研制成功和盐场试验，应是在清光绪二十七年至二十九年（1902—1903）。

井径加大，改篾索推钢丝，推筒加大增长，负荷也加重。再继续采用岩盐发现初期那种人力水推汲，底咸就搧不翻，生产失去其作用。在岩盐区，一部分盐井相继停推或废弃；另一部分盐井咸量缩减，“亦岌岌可危，大有朝不保夕虞”[6]。这不仅危及当时岩盐井的生产问题，而且也关系到今后岩盐井的发展和前景。大坟堡济海井工程师刘耀文，向川康盐务管理局呈文云：“查岩盐年久，所化空隙必宽，渡入白水（淡水）波及力弱，而岩盐难化，故咸则不重；若由机车加机搧推，动作迅速，波力强大，岩盐之隙虽宽，波及亦能浸及，而岩盐自化则咸重矣。工有鉴于斯，细心研究，机车加机（搧推）之方，未久功成。”[25]

济海井盐层厚约 5 米，推汲年余，由于井底咸水 0.6 ~ 1 米位置，卤咸变淡，产量锐减，因此，乃改用人工搧水方法，以图增加产量，但是，劳动用人工负荷太重，人力不能将井底咸水翻转，每推一筒，需时 3 到 4 分钟，产量不能达到一般水平，生产日益困难，以致时推时停，故折本甚多，负债甚巨。为此，井主肖冰如遂想改进机器，缩短推时间，提高卤咸，增加产量。

肖冰如先找翻砂厂制造搧水机，因技术问题而该厂表示为难。接着与该井机车工程师陈文彬研究，也没有得到解决。最后同助理技师刘耀文商讨，刘说，曾有人在贡井某井的机车头上安置线盘（俗名歪柄子）来搧水，由于摆动过大没有成功，如能进一步改进，使其不摆动就行[26]。肖冰如同意刘耀文的意见，并与刘耀文、余海清（机车管事）多次研究，决定改进机车，“乃改将车心加倍，将线盘安装在车心的五寸头上，并于车心两端各连钢绳一节，名曰邦绳索，于两节邦绳索会合处挂以铁钩，然后利用汽缸里蒸汽，转动车心带动线盘邦绳索，车心线盘在机车上转动不已，推卤钢绳即在井内上下来回不停，筒内底咸逐渐将筒内上部淡卤从冒筒排出，底层岩盐咸卤亦逐渐灌入筒内。如此往复来回数十次，即将筒内淡卤排尽，贮满咸卤，然后推出井口。机车搧水终于在刘耀文、余海清二人的努力钻研下，在济海井实验并获得成功。”[6]

机车搧水采卤，取代了人力畜力推水，提高了劳动效率和矿体采收率，使得有些停产或停废的盐井起死回生。也使得有些咸量不断下降，岌岌可危，濒于停产的盐井，得以继续生产，大大延长了生产井的寿命，如积福、双福、多福、裕降、裕福、煜生、济海等井，甚至一些新见功岩盐井的诚龙、天咸等井投产不久，亦改直推井为搧推井。一些井改机器搧水后：“咸量得以达标咸以上[6]。人力 60 脚只能达到咸量五两一钱，用机车 30 至 40 转（相当于 30 至 40 脚），则可达到七两几钱（咸）。”[26]机器搧水的发明，使一些老井、旧井焕发青春，特别是一些大型岩卤井，井径最大 29.5 厘米，井架高达几十米至超过 100 米，推筒加上卤水及钢绳总重量达数吨，如果不用机器搧水，人力搧水是无能为力的。

机车搧水采卤，不仅解决了过去人力搧水不翻的困难，咸量增加 1/3，而且大大减轻了工人的劳动负荷，节约了人力。从前要用八个人按过江，现在只需一个人挂铁钩，缩短了每筒推水时间，增加了推水筒数，提高了卤水产量。之后，机器搧水的原理又加以改进和完善，用于盐场新打井、加深井及修治井工程中，对提高钻井速度、加快工程进度、确保井下质量，均取得显著的成效。

（三）盐井孔径的加大——从小井径到大井径盐井



初期岩盐井的开凿，多系旧井或老井加深至盐层，进行开采，其井规格甚小，一般井径在100～115毫米之间。其中亦有新钻见功者，仍为小井径。当时，盐井采用小井径其有两点：第一，钻井速度快、投资少，同时见功时间快，可提前投产，获得效益；第二，设备简单，动力小，适用于小井生产。

清末，由于岩盐的新发现，社会对食盐的急需，为矿山发展带来了契机。但是，小井属小型生产规模，不能适应矿山发展的需要，限制了生产的发展，主要亦反映在两方面：其一，不能充分开采和利用地下岩盐资源。大坟堡岩盐发现后，立即进行了开采，由地面注入淡水，溶盐成卤。地下丰富的岩卤，需要大量的开采。但是，由于盐井孔径小，推筒亦小，则容量小，产量低，扼制了矿山的开采；其二，不能充分发挥设备动力的推汲能力。小井原来的设备为人车和畜车。为了提高岩卤产量，获得厚利，于是，岩盐卤井普遍推广了机车汲卤，即畜车改为机车，篾索改为钢丝，竹筒改为镔铁筒。机车是推汲重负荷，而畜车是推汲轻负荷。以机车推汲（小井）轻负荷，正如盐场工人说："大马拉小车，亏损了。"则耗用多，收效少，没有充分发挥设备动力的能力。于是，井商深深感到原来的小井生产能力有限，与新的生产设备不相适应，不能再增产更多的岩盐卤水。为此，井商在卤水紧缺，销售甚旺，有厚利可图的基础上，大刀阔斧地改进，破除大井（径）钻凿速度慢的迷信，纷纷向大口径的方向发展。出现了168～220毫米大井数十眼。如，井孔168毫米的井有裕福、裕海、富海、裕隆、双福、积福、利贞、涌海、会元、聚源、炎泰、洪旺、涌金、春生、多福、同川、宝源、大有、华丰、荣流、咸海、广济、三泰、庆余、润咸、德海等。口径为220毫米的井如双福、煜生等[19]。由于机车动力的改进，盐井孔径的加大，因而卤产陡然的增加，由小井每月产卤约7 000～8 000担，提高到10 000～20 000多担。遂改变了卤水产不济销的状况，且绰绰有余，获利丰厚，如，江流井生产一年，赚获白银35 000两，收回全部建井投资[6]。

**四、岩盐井的淘修是提高采收率的重要环节**

岩盐井钻成后，即投入生产，盐场称为"生产井"。生产井在生产过程中，由于各种原因，要发生井病，而且生产时间越长，井病就越多、越严重，乃至井废。为了保持盐井正常生产，延长盐井寿命，提高采收率，为此，要淘修井。

（一）盐井的维修——淘井

大坟堡岩盐井，主要以人力或机械为动力，采用旧式顿钻法凿建而成，裸眼开采。正是由于岩层裸露，提筒和推篾或钢丝昼夜在井内上下往复的采汲，生产时间长了，岩石将发生掉落，甚至垮塌，同时在推汲过程中，也落一些如麻、竹、铁等杂物之类，并与岩屑混合，逐渐填高井底，直至岩盐溶腔，因此，咸量就出现下降，由咸变淡，影响生产。

为了稳定、保持岩卤的咸量（或略有下降，但不致大幅度下降），常采取定期或不定期的维修——淘井，以清除井下的岩块（屑）、淤泥、麻筋、篾片等杂物，一般淘至含盐井段以下，腾出余位即可。经淘后的岩卤井，使咸量往往恢复正常，这种方式，对延缓盐井寿命，增加产盐量，提高采收率，起到吹糠见米的效果。以后，为了减少专门淘井，采用了"推水搧砂"（或称推水带砂）的新方法，清除

井底泥砂，以稳定盐井咸量。当然，岩卤咸量下降，其原因诸多，不同的原因，以采取不同的方法解决。

（二）盐井的修治

修治井与淘井不同，前者大多是在盐井停产情况下进行的，后者一般是在生产情况下进行的，即一面淘井，一面照常生产，即淘井不停产或称淘井、生产两不误。

修治井，包括井病多种，内容广泛。但可分井下与地面两个大的方面。第一，井下如，木柱（木制的表层套管）损坏的修治；岩腔的重补；丝槽卡丝的解脱；岩垮封腔的撵穿；断丝掉井的捞取；筒落井的打捞；天然气爆炸（俗称打炮）的修复等。第二，地面搬竿竿及栽灯竿折筒的更换；打龙头，丝筒坠井（由地面坠入井内）重大事故的处理；机车零部件损坏的更换和修理等。

总之，大坟堡盐体采收率创造的奇迹，是与科学的管理和开采工艺分不开的。多级岩盐溶腔连通开采，则是最有效的溶盐成卤；而盐体自然高差和卤水比重原理的利用，并配合注水井，从北至南，则是有利于咸卤的汇集；盐井设施的变革，又为开采咸卤提供了手段；岩盐井的淘修，确保了盐井持续生产，延长了开采寿命。

自贡大坟堡盐矿体，是我国最早开发和利用的第一个岩盐矿床，为我国深层盐矿的钻采和发展开辟了道路。同时，它的采收率创造了世界盐矿水溶开采之奇迹，这是我国及世界井盐史上一件大事，值得我们高度重视和深入广泛地研究。

## 第四节 我国第一个深层岩盐体开采的重大价值

我国第一个深层岩盐体的发现和利用，改变了两千多年以来，四川井盐生产长期仰依自然卤水的局限，扩大了对盐矿资源的利用，为开发地下深层的岩盐矿产资源，开创了先例，在四川和中国井盐史上，具有划时代的意义。同时，岩盐钻井水溶开采法的创建，即采用井组或多井连通开采，大幅度提高采收率，从而把岩盐开采水平，提高到了一个崭新的阶段。这种方法，在19世纪末，我国已创造成功，比国外要早半个世纪。岩盐钻井水采比井巷旱采具有开采工艺先进，经济技术合理等优点。为此，我国第一个深层岩盐矿体的发现和利用，具有重大的价值及其深远的意义。

### 一、为井盐生产开辟了卤源的新途径

第一个深层岩盐体的发现和利用，为井盐生产开辟了卤源新的途径。为了弄清和了解这个问题，先得从自然卤水利用谈起。

（一）自然卤水的采集和利用

井盐生产制盐需用的原料，分为液相卤水和固体岩盐两种。关于岩盐的采掘和利用，虽然早在周代就开始了，但是，属于天然出露地表或埋藏在地下浅层的“盐石”或“咸土”之类，而且数量极少，采掘时间短，没有形成规模性的生产，“岩盐之在往昔发现绝少，史乘鲜传，欲考其实起源，殆不可得”[27]。因而，四川



从公元前3世纪至19世纪末，历时2 200余年间，只好长期仰于自然卤水①（包括泉卤及井卤）的采集和利用。但主要为凿井汲卤，以卤煎盐。古代卤水的采集和利用，由秦代3县，汉代迅速发展到18县，唐代猛增至69县，清初，四川已形成以富义（今自贡）为代表的五大产盐区②。清咸同年间，自贡盐业达到鼎盛，成为我国最大的井盐生产基地。但是，自贡井盐生产的繁荣，主要是对自流井构造地下丰富的卤、气资源进行了大规模的开发，因而获得了资源的保证。如，“清道光时，富、荣两地……年产盐达六千万千克”（折盐六万吨），至同治到光绪初年，年产盐猛增为“近20万吨”[28]。这时的产盐，完全是利用地下自然（即天然）卤水熬制而成的。可见，自流井构造蕴藏卤水之丰富，开采时间之长，在四川乃至我国很具代表性，并为井盐生产作出了重大贡献。在历史上，川盐生产除满足本省民众需求外，还远销黔、滇、湘、鄂等省部分地区。为这些地区“食盐奇缺、民苦淡食”获得了缓解。同时，盐税为历代王朝国库收入的一个重要来源，如，清宣统三年（1911年），四川盐税为630万两白银，占全川总税收的36%③，在四川财税收入中名列第一。

由上可知，自然卤水为制盐的重要原料，在井盐史上，为井盐生产的发展和推动社会的进步，起了重要的作用。我国的地下卤水，虽然分布较广，但是卤水富区和贫区分布不均。四川、湖北等省一些地区地下卤水蕴藏较丰，具有工业开采价值，现已部分开采。而有的地区，历经长期开发，面临着枯竭，如，自贡地区。根据现已初步探明我国盐资源情况，地下卤水NaCl工业储量和地质储量，仅占全国盐矿资源总储量的0.111%[29]，不能与丰富的岩盐矿床相比（见表7－3）。

**表7－3　各盐矿NaCl储量占盐矿总储量的比率**

| 盐矿类型 | 各矿NaCl储量占盐矿总储量比率（%） | 全国盐矿总储量（%） | 排名 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 岩盐矿床 | 97.442 | 100 | 1 | 未计四川地下卤水储量 |
| 湖盐矿床 | 2.444 | | 2 | |
| 地下卤水 | 0.111 | | 3 | |
| 盐湖卤水 | 0.003 | | 4 | |
| | 100 | 100 | | |

**采自：林朝汉《浅谈中国盐矿资源及其特点》**

随着社会的进步，盐化生产的发展仅仅依赖地于自然卤水，远远不能适应和满足井盐生产的需要。因此，岩盐矿床资源的开发，为盐化生产开辟了新卤来源。

---

① 四川为液相自然卤水，与有的省不同，如云南液相卤水分自然卤水及次生卤水。

② 清初，四川五大产盐区，福兴（西充、南部）、华池（射洪、蓬溪）、富义（今自贡）、云安（云阳、大宁）、永通（犍为、乐山）。

③ 杜凌云等：《四川自流井盐税的掠夺战》（载《自贡文史资料选辑》第五辑）云：清宣统三年，四川全省税收“白银一千七百三十余万两，其中盐税六百三十万两；田赋四百三十万两”。

（二）第一个岩盐体的发现为井盐生产开辟了新的卤源

我国井盐生产，已有二千多年的悠久历史。早期，先民凿井的目的和需求主要是自然卤水的获取和利用①。随后，由于钻井技术的发明和发展，深井的设计和钻探，人们以获得卤水、天然气、石油资源为其目的了②。可见，古人对地下深部油、气、水矿产资源有了认识和提高。但对地下深层十分丰富的岩盐矿产资源还不甚了解。于是，当我国第一个岩盐被发现和钻采后，拓宽了探矿的视野，从而为井盐生产，开辟了盐矿资源利用新的途径。从此，自贡盐场地下矿产资源的钻探工程又增添了一项新的内容，即除钻探地下卤水、天然气及石油以外，还要以岩盐为目标，向地下深部开拓。继大坟堡盐矿之后，自贡地区先后新发现了三个岩盐矿床，即郭家坳盐矿、大山铺盐矿及威西盐矿。岩盐大量的开发，随之岩卤产量亦逐年地增加和提高，所占制盐原料的比例不断地增加，直到全部取代自然卤水。岩卤（又称人工卤水）取代自然卤水制盐，这标志着从矿山到制盐已发生了根本性的变革，其重大价值和意义可归结为：

第一，我国第一个盐体——四川自贡大坟堡盐体及其毗邻的三个盐矿的开发，拓宽了盐矿资源的利用，开辟了新的卤源，改变了制盐长期依赖自然卤水的被动局面，为自贡盐化生产的大发展，提供了丰富的、可靠的及长期的物质资源，具有重大的经济效益和社会效益。

第二，大坟堡盐矿的新发现，开阔了人们的眼界，拓宽了对岩盐资源的认识（无论是直接的或间接的认识），提供了一个“标本”，从而为深层岩盐矿产资源的开发，获得了突破性的进展。在我国井盐开发史上，具有划时代的意义。

第三，岩盐钻井水溶法的创建，为深层岩盐的开采开创了先例。大坟堡盐矿，于19世纪末，创建了钻井水溶法开采，即以井组及多井连通开采，可大幅度提高卤咸、卤产及经济效益。特别是采收率的提高，乃是岩盐矿山开采的一个重大的突破。这种方法，国外（如美国）20世纪50年代才应用。同时采用了多种先进的方法，以加速井组或多井盐层之间的连通。如压裂法、油（气）垫法、钻井及爆破等。目前，岩盐钻井水溶连通开采，已为国内外普遍应用。

第四，岩盐井的钻探，成功率高。自贡盐场凿井（包括油气井、卤水井及岩盐井），难度大，技术要求高。主要有：（1）地质情况复杂、井位难定；（2）钻井工期长，如钻凿1 000米的井，少则4～5年，多则10～20年或更长的时间；（3）耗资甚巨。盐场人云“凿丈井，耗寸金。”凿井成功就暴发，失败就倾家。因此，一般来讲，盐井的钻探，都带有较大的风险性和冒险性。但岩盐井钻探，比卤水井把握性大、风险小、成功率高。因此，可减少钻井工程浪费、节省巨额资金。

第五，岩盐开采，获利甚丰。盐场人说，自贡是个银窝窝，卤盐就是银砣砣。岩盐开采由于获得咸重丰卤，成本低，故获利丰厚，成为盐商生财、聚财、发财之道。如，自贡著名盐商罗筱元，与他人合伙，先后在大坟堡盐区，钻了天咸、正雄及成龙三眼岩卤井，均获成功，产丰咸重。正雄井，其卤咸领居岩盐矿区各

---

① 系指公元前3世纪。

② 系指19世纪中后期。

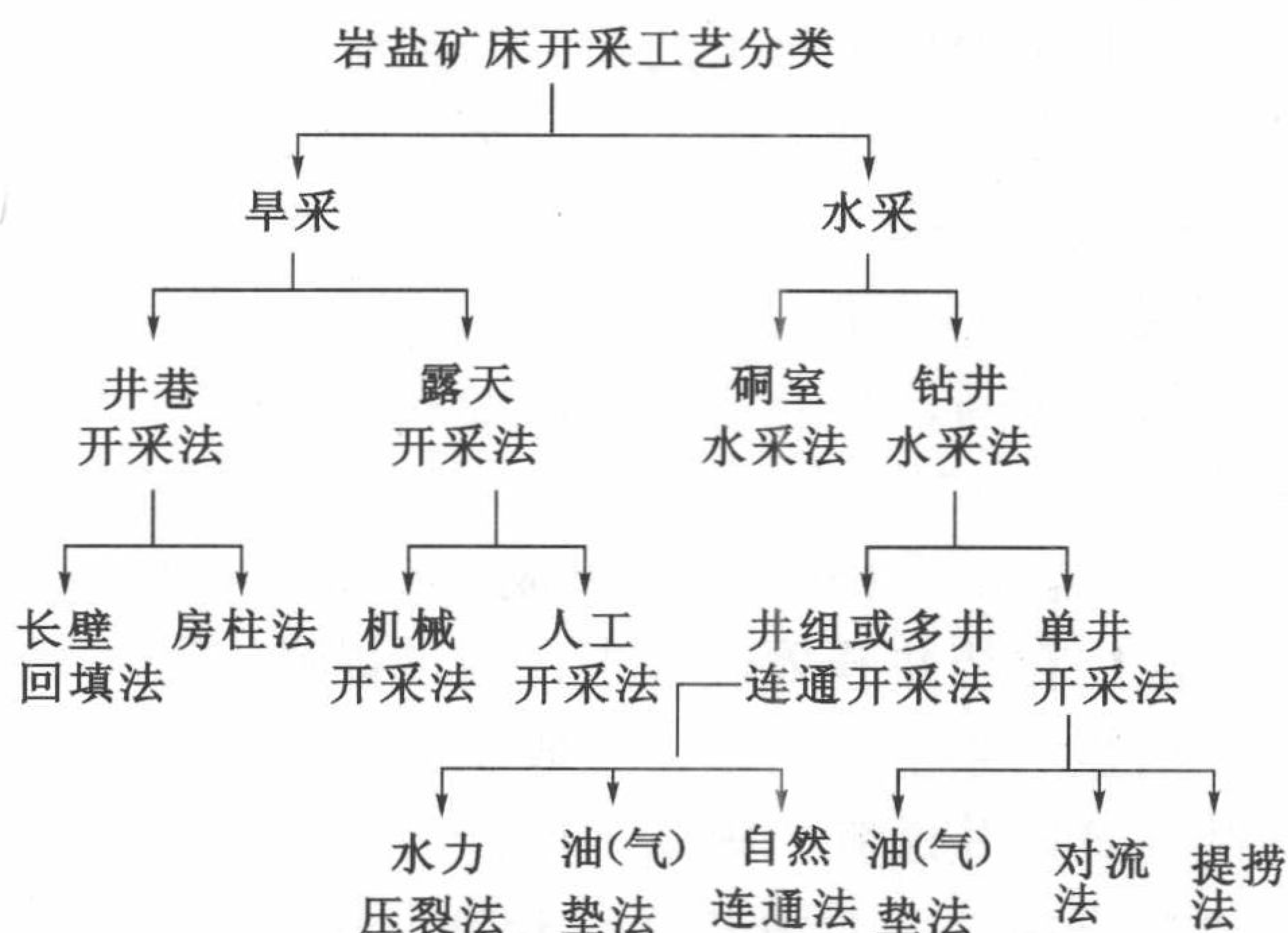


井之冠，卤咸达饱和，月产岩卤四万标担①（折固体盐 1 240 吨）。成龙井，卤咸 300 克/升，年产岩卤约 50 万标担（折固体盐 15 500 吨）。天咸井，仍是一眼高咸高产井。三眼井在最高产卤时，占全区岩卤总产量的 25%。他的极盛时期，以三口岩卤井所占日分加之拥有火圈 129 口及盐锅 148 口，“就值时价 40 余万元，每年获利润达 10 万元以上”[30]。另有田土产业等未计，因而发迹盐场，跻于巨富之列。又如，盐商牛集成，以集资 3.5 万两白银，锉办江流井，经过两年的艰辛开凿，钻至盐层投产，月产岩卤 1.4～1.5 万标担（折固体盐 434～465 吨），一年就赚 3.5 万两白银，收回全部投资。相继又赚了三万余两白银，于是，轰动了整个盐业界。足见，岩盐的开采和利用获利之丰。

## 二、岩盐钻井水溶开采法的创建

岩盐矿床开采方法，主要分为旱采和水采两大类（见表 7－4）。但盐矿一般开拓的方式为自然出露地表的盐矿，适用露天开采；埋藏浅、厚度大及含氯化钠品位低的盐矿②，则用旱采或水旱兼采或钻井水溶开采；埋藏深、含氯化钠品位高的盐矿，多用钻井水溶开采。在矿山开采中，浅层及深层盐矿最多，露天开采极少。尤其深层盐矿开采有发展的趋势。古代钻采井深为 1 000 米，现代钻采井深达 3 000 米左右③。所谓钻井水溶开采，是指盐矿开拓以钻井为主的系统工程，即盐井钻成后，揭露出岩盐矿层，然后安置生产设施，向井内注入淡水，溶解岩盐，生产符合工业指标岩盐卤水的方法。其工程内容，包括井位选定、钻井工程、采输卤工程及相关配套的工程等。钻井水溶开采，按工艺特点，又分为两类：其一，单井开采。此类包括提捞法、对流法及油（气）垫法；其二，两井或多井连通开采。主要包括自然连通法、水力压裂法及油（气）垫法等。

**表 7－4　岩盐矿床开采工艺分类**




采自：马宗瑶、聂成勋等《井矿盐地质基础与开采工艺》（1992 年）

① 一标担折固体盐 0.031 吨。

② 国外，岩盐开采一般以埋藏浅、厚度大、品位高（含 NaCl 95% 以上）的盐矿，适于旱采，又称干式开采。采出的矿石，大都直接供利用。与我国云南低品位盐矿有所不同，为此岩盐开采，要因地制宜。

③ 1983 年，四川蓬莱盐 6 井，钻采深度达 3 010 米。

岩盐主要由石盐矿物组成（化学成分 NaCl），具有易溶于水，溶解度高、扩散性强及离子迁率大等特性，因此，有利于水溶开采。岩盐钻井水溶开采，比起传统式的采矿方法，确有工艺先进、经济合理、操作简便等优点。当今，为国内外推广应用。1825 年至 1892 年，我国四川自贡大坟堡岩盐体成功实现了钻井水采。1895 年又发明了井组连通开采，创建了钻井水溶开采法，这种方法的创建，成为世界岩盐钻井水采之先声。

（一）独特的提捞掬咸采卤工艺——单井开采

我国第一个深层岩盐的发现，给人类社会带来了巨大的财源。但这个盐体具有埋藏深，盐层薄，井内淡水多、咸水少的特点。我们勤劳智慧的先民，却巧妙地借鉴和应用钻井掬泥的原理，专门在井内岩卤井段，用提筒掬汲高咸卤水获得成功，创造了独具特色的提捞掬咸采卤工艺，能有效地和充分地开采地下岩卤资源。同时，取得了显著的经济效益。这种采卤工艺，在盐场应用长达 100 多年。

提捞掬咸采卤工艺，在当时是一种创新，它与国外讲的一般提捞开采有区别。其工艺流程：以篾索一端系于大车（升降绞车），另一端系于掬筒（或推卤筒），并通过地辊子（地滑轮），悬吊于井架天辊子（天滑轮）垂入井口，在地面用淡水灌满掬筒，大车转动，放至井底，然后采用按过江的方法（篾索在大车至井口一段距离长，名曰“过江”），即工人站在过江位置，脚往上蹬，手持篾索往下按，以提高掬筒在井底的位置，手一离开过江，脚站还原位置，借助掬筒上下的活动，向上则由筒底部活塞汲入咸水，向下则筒上端排出白水。如此上下往复数十次（俗名数十脚），即可将筒内白水排尽，贮满饱和卤水，以提高咸量，谓之人力掬咸，又名掬水。

自此，大坟堡岩盐矿床用淡水注井，提捞掬咸开采。这种采卤工艺在自贡获得了普遍推广，为岩卤开采做出了重大的贡献。其主要优点：第一，岩卤开采咸量高、产量大。地下岩盐在水采过程中，有一条共同的规律，即岩卤咸量随着地下岩盐的溶化，年复一年地开采，溶腔的扩大，岩盐咸量始终是由咸变淡。根据井内咸量的变化，提捞掬咸操作很灵活，视咸水位置的高低，掬筒可提上放下，掬汲咸水。所以，开采卤咸高，有的井卤咸接近或达到饱和，而且高咸量持续的时间很长。由于卤咸高，故井的产量大。一口大型岩卤井，平均日产盐达 100 吨。如，大$_{六}$井，逐年累计产盐高达 68.6 万吨，成为自贡盐场最大的一口井。第二，盐井使用寿命长。此法，在盐井开采过程中，经过提捞掬咸，长期采汲，可以把盐井所控制一定范围的盐层采空，由咸卤变成淡卤，直至盐井报废，由活井变为死井。但是，如死井与其他井通腔，则井内的淡卤，又将被咸卤取代，仍然继续生产，这时，死井将变成活井。而活井又经长期开采，由咸变淡，无生产价值，停搁废置。但随着注水井位置的改变，外来咸水流入淡井，于是，又有了开采价值。盐井生产出现几度兴废，死而复生，这是先民们在盐矿开采史上一大奇迹。在现代采盐工艺中，亦是难以做到的。所以，盐井使用寿命长，据史载：该矿以



提捞搧咸法，盐井开采年限，一般为10~20年，长者乃达30年①。

（二）岩盐钻井水溶井组连通开采

一井流白玉，万里走黄金。自大坟堡盐体发现和开采以来，尤其是发源井投产后，获得丰厚的利润。其他盐商亦因利之所趋，竞相效仿，接踵而来，在这块1.2平方行米的宝地上，倾注大量投资办井，或淘锉或新钻，一时形成了钻井采盐热，如当年大洋彼岸淘金热一样②。

李伯斋是一位懂业务、善管理的盐商，因租佃陕商发源井加深发现岩盐，而名赫盐场。接着，他又先后淘办天全（泉）、大泉及童海三口井，均钻获岩盐。其中，天全井位于发源井东部，两井相距140米，1894年钻至岩盐，盐层厚1~2米，钻毕投产，开采一年余，即1895年末，与发源井连通，由发源井注水，天全井生产，由两井连通开采。从而创建了岩盐钻井水溶开采法，并把我国岩盐开采水平，提高到了一个崭新的阶段。随即，这种开采新工艺，在自贡得到了普遍推广和应用。两井或多井连通开采，能极大地提高岩盐矿床采收率。如，大坟堡岩盐体应用连通开采，并结合其他技术措施，其采收率高达92.53%，在世界岩盐矿井开采史上，独树一帜，此其一（关于这个问题的详情，见本章第三节自贡大坟堡岩盐体采收创世界奇迹的秘诀）。其二，两井或多井开采可大幅度提高卤水产量，甚至可成倍或数倍地提高产量。

关于地下岩盐溶腔连通的测考方法。地下岩盐溶腔连通情况较复杂，变化大。为了探索和了解溶腔连通的客观规律，以便为岩盐开采服务，我们聪明的祖先，运用了两种奇巧的方法：一是考察注水井与生产井的连通情况，就是用糠壳（谷壳）放入注水井里，在采区进行观察，如生产井中发现糠壳，即知注水井的流向，并证实与盐井连通，据林振翰撰《川盐纪要》（民国八年）云："盐岩（今名岩盐——作者注）之发现，日以淡水灌入井中，复以寻常汲卤之法汲而煎之。……未几，甲井入水而水不见，乙井不必水，反而源源而来，推而至于丙、丁，莫不如是。……一日，某井户以粗糠和水入井试之，果由他井汲出，因知盐岩融化，逐渐沟通。遂共同商议，于四十余眼盐岩井中，只以一二井专司灌水。"先民利用溶腔连通的自然规律，"以一二井专司灌水"，又以"四十余眼岩盐井"开采，注水井与生产井既分开，又结合的方法，为岩盐开采的一个创举；二是测考岩盐大腔的连通。测试手段和方法：考筒以竹篾牵引，井架支撑、绞车升降、分别测考南北采区的水位，当两区水柱达到水平时，亦足证相互连通。在川盐生产第二个"黄金时代"，盐区井内注水高低，以天咸井18井丈③（63米）水柱为标准，并结合各生产井水位和咸量情况，及时加以处理和解决。这种考测水位（水柱高度）的方法，科学、简便、准确，因而在盐场沿袭至今。

（三）国外岩盐钻井水溶开采简况[20]

---

① 1961年，原化工局地质队，在对大坟堡盐矿开发研究时，调查统计了（旧、废）岩盐卤井"180多眼"，其中有的井生产寿命长达30年左右。

② 1848年，美国加利福尼亚州的萨克拉门托流域发现金矿，轰动全国，立即掀起淘金热。金矿的开采成为美国资本主义发展史上的一件大事。

③ 一井丈折计公制3.50米。





国外岩盐钻井水溶开采，从单井作业发轫并且开创了多种采卤工艺，但是，应用先进的采卤工艺——井组或多井连通开采，却起步很晚。

岩盐钻井水采，是从单井作业开始的。随着钻井技术的发展，井内有了可靠的止水堵漏技术，从而保证了井液的正常循环，采盐工业上借鉴了这一方法，实现了单井对流开采。美国于1883年发表过单井对流采盐的“专利”文献[20]，而付诸于实施，用于岩盐开采，还是在19世纪末。单井对流采盐法，其方法简单，操作安全，与当时的“旱采法”相比，确实是一种先进工艺。因而，此法曾在西方世界如美国、前苏联、法国等普遍推广与应用，盛行长达半个世纪之久，迄至20世纪70～80年代，西方一些发达国家还在继续采用。这种方法，有些严重的缺点，主要是使用寿命短，一般为3～6年；采收率低，当盐层厚30～40米时，采收率为5%～10%，巨层厚200～300米时，采收率仅有2.5%～3%；生产过程中，易过早暴露盐层顶板，造成垮塌，引起油、套管变形、断裂事故及生产能力较低等。

油（气）垫法开采。由于单井对流开采存在一些弊端，给生产带来诸多问题，国外又开始探索新的采盐工艺，于是油（气）垫法就应运而生。其原理是：在开始井下溶盐的初期阶段，用油（气）作盐层与水的隔离层，控制上溶，迫使岩盐溶腔向水平方向扩展建立盐槽，然后，排出部分石油（或空气），进行单井自下而上的开采，或实现井组连通开采，以获得高产、高咸的岩卤，延长盐井寿命，提高采收率。1906年由法国菲利普·吉鲁（Philippe Genreau）最早提出油（气）垫建槽设想。1935年，索尔来（Solvay）公司采纳了美国特朗普（Trump）的建议，始用气垫法建槽，槽高1.2米，直径91.2米，槽期需时一年，产盐水42立方米/小时。苏联后来居上，对油垫法进行改进，获得成功，在盐矿开采中顺利地推广应用。罗马尼亚和保加利亚等国先后亦应用了油垫法建槽采盐，并取得了较好的经济效益。因而油（气）垫法采盐，在西方世界兴盛起来。油（气）垫法开采，在一定程度上弥补了单井对流的不足，如克服了盐层顶板过早暴露而垮坍现象；延长盐井使用寿命；提高了采收率等。但亦是不完备的采卤工艺，仍存在某些缺陷，比如，建槽时间长；开采初期，卤水表面浓度低；油（气）在井下发生漏失、污染卤水；耗能高、生产不经济等。

双井或多井连通开采。这种工艺，国外起步很晚，至20世纪50年代末，才借鉴石油井下压裂技术，对盐井井下盐层进行水力压裂，造成井间盐层连通，为连通采盐的肇始。从此，西方岩盐钻井水采，才进入了一个新的阶段。

据以上国外岩盐钻井水采简史，我们可以出两点结论：第一，国外由单井采盐到两井或多井连通采盐，历经了漫长的岁月。1833年发表单井对流“专利”，至19世纪末才实用于生产；20世纪40年代，开始出现油（气）垫法；20世纪50年代末应用水力压裂法。若从“专利”发表算起，到盐井压裂连通开采，先后长达一个多世纪。即便以“专利”用于生产实际开始算，至井组连通采盐，亦历时达半个世纪。而我国从1892年成功地进行了单井采盐，1895年又创造了两井连通开采新工艺，前后仅用了三年时间。相比之下，可见我国之“快”，西方之“慢”。第二，岩盐钻井水采，分单井和多井开采两种，而最先进的采盐工艺，乃是“盐



井连通开采”。国外虽然开创了多种采盐工艺①，但是，配套采盐工艺不够完备，因而长期制约了盐矿开采技术的发展，主要表现在采收率低。直到20世纪50年代末，才实现了井组连通开采。我国早在19世纪末，已开创了井组连通采盐新工艺，比西方要早约50年。

## 三、岩盐钻井水采的优点

岩盐钻井水采与井巷旱采相比，具有工艺先进、开采合理、劳动负荷轻、操作简便、工效高、成本低、采收率高及保护环境等突出优点。

### （一）岩盐钻井水采工艺先进——将井下采矿和地面制卤两个复杂的工序合成一个简单的工序

岩盐钻井水采，从单井作业开始，发展到多井作业。传统的钻采方法，先由地面钻凿直达地下岩盐底部的井筒，然后注入淡水，溶盐成卤，提筒采汲，常称提捞法。现代盐井的钻采方法，是在传统井身结构的基础上，增组合管串（包括套管及中心管），安装井口装置等，形成淡水入井溶解岩盐及咸水返出地面的循环通道，开采符合生产要求的岩卤。国内外普遍应用单井对流开采和多井连通开采。四川自贡早在19世纪末，已实现了井组连通开采先进工艺。

岩盐钻井水采法与旱采法不同。矿山井巷旱采，必须从地面开拓竖井或斜井及一系列的平巷和石门，通过矿层以便进行井下采矿作业，即凿岩、爆破、装载、运输、提升、通风、排水、照明及安全等复杂的系统工程。矿山建设和采矿需用大量的物质及庞大的设施，耗费的人力、物力及财力，庞大而复杂的采盐工序，不能与钻井水采相比。

地面溶矿制卤。如，我国云南，井下采掘的岩盐矿石，提升到地面，先经过机械破碎选矿后，再输送到大木槽内（每个容积约12立方米），溶矿制卤。随着矿山的扩建，生产的发展，又将木槽改为石砖卤池（每个容积50～350立方米），池内溶矿制卤包括铺垫竹制砂床、盛矿石、加淡水、排浓卤、除矿渣等工序。

由上可知，岩盐旱采法，包括井下采矿及地面制卤两个繁杂的工序，而先进的钻井水采，则将两个繁杂的工序简化成一个工序，即合二而一。它利用岩盐具有易溶于水的特性，将淡水通过管道，注入井内，溶盐成卤，出来的就是岩卤。

### （二）卓有成效地开采地下深层盐矿

根据地质普查和勘探证实，古代岩盐矿床多埋藏地腹，由数十米至五千米，一般为1 000～3 000米左右。我国旱采属于地下浅层盐矿，如，云南岩盐埋深一般为40～300米，盐层厚度在30～200米之间，矿石NaCl品位约为30%～60%。国外，如前苏联旱采（KCl）最大深度可达1 200米。

钻井水采法，既可开采浅层盐矿，又可开采深层盐矿。云南浅层低品位盐矿，历来为旱采，但经过长期的、艰辛的试验，已成功地实现了钻井水采［油（气）垫法、水力压裂法等］。并在许多盐矿进行了推广和应用。钻井水采低品盐矿，在国内外是一个创新。

19世纪末，自贡岩盐矿床开采深度为900～1 000米[31]。当时，这算是世界上

---

① 国外盐井连通采盐工艺，主要有压裂法、双井浸析、定向钻井、冲洗、爆破等。





深层盐矿的钻采了。国外盐矿开采为浅井，如1887年美国堪萨斯州，通过钻探揭露盐层深度仅243.8米。1932年，苏联岩盐钻井水溶开采为750米。

随着钻采技术的提高，岩盐开采深度亦不断向地层深部延伸。地下丰富的岩盐（大型或特大型盐矿）得以充分开采和利用。为此，19世纪末，旱采为浅井，至20世纪80年代初，苏联（KCl）开采达到1 200米。迄今，世界上还没有2 000～3 000米的井巷采掘。但钻井水采于19世纪末采深已达1 000米，现在井深为3 000米左右。可见，钻井水采比旱采更能有效地开采地下深层盐矿。

（三）操作简便劳动负荷轻完全摆脱了井下繁重的劳动

旱采，繁重的井下劳动。水采，地面操作，劳动负荷轻。

旱采，属于井下作业，不仅劳动繁重，工作艰苦，而且，人身安全也得不到保障。1793年，云南发现岩盐，新开矿井，采矿制卤。早期，滇盐矿山为斜井开拓。矿工俗称砂丁，口含亮子（油灯），身披麻片，上工像花子，吃饭像猴子。由地面至井下采矿工作面，巷道崎岖狭窄，仅能容身，匍匐井硐，勾腰凿矿，一个（工班）7小时，采矿0.6～1吨。在采矿过程中，进行掠夺式乱采，不顾人身安全，时常发生顶板垮塌、涌水、闷火等事故，甚至发生整个井硐突然陷落，造成“硐毁人亡”的惨剧。同时井下不通风、潮湿、黑暗、闷热，工作环境十分恶劣，云南民歌谣生动如实地反映了当时的情景：“小小童工陶世荣，生活逼迫下矿井。漆黑矿井不通风，闷得头晕心惶恐。硐陡坡滑手脚软，坠入涝塘把命送。”[32]

钻井水采，由于采矿工艺先进，人员作业在地面，操作简便，这不仅包含着经济因素，而且还包含着可靠的安全因素，因而劳动强度和工作环境比起笨重的井巷开拓方式有了彻底的改善。

（四）保护环境

旱采，污染环境。水采，保护环境。

滇盐矿山，岩盐埋藏较浅（一般100米左右）。历史上，盲目采掘，不留矿柱，或少留矿柱，上覆地层不够坚硬，护顶层薄，地下水渗透，因而，经常发生采区地表陷落，俗称“大落硐”，如，凤岗小河河床陷落直径50米，垂深30米，陷落波及面积达7 000平方米。

云南岩盐矿床，主要为陆相沉积，矿石含NaCl品位低，杂质含量多。矿山开采，采矿在地下，制卤在地面。溶矿制卤，产生和排放大量的废渣及废水，阻塞河道，浸害田土，污染水质。森林的砍伐，童山秃秃，雨季到来，山洪暴发，出现泥石流、滑坡、塌方等。总之，矿井的垮塌、废渣的堆积、污水的遍流、泥石流及塌方的发生，对生态环境造成很大的损害和影响。据《云南省志》（卷一九）《盐业志》载道：“云南制盐行业在40年代以前，一直是采薪熬盐，年复一年砍伐柴薪，而忽视造林。各产区周围一二十平方千米范围内几乎成荒山秃岭，生态平衡遭到严重破坏，导致……一平浪、乔后、磨黑等矿区，先后被泥石流袭击。其中，元永井矿区……造成死亡108人的重大恶性事故。这些事故虽然原因直接都由暴雨引起，其根源与历史上制盐行业缺乏环境保护意识、不注重科学生产有关，应引以为戒。”

钻井水采，与旱采相比，大大减少对环境的污染，保护了生态平衡。水采工



艺先进，可将井下采矿及地面制卤两个繁杂的工序，合成一个简单的工序，而且这个简单工序是在井下一次完成的，大量的废（残）碴淤积原地留下，废水储集溶腔里，不排放在地面，因而极大地减少及减轻对地面环境的污染，保护了生态环境。

（五）经济效益高

从矿井旱采发展到钻井水采，则是井盐开采史上的一次重大的变革。就技术经济指标来看，却有工效高、成本低、采收率高等优点（见表7－5）。

**表7－5　岩盐矿水采与旱采主要技术经济指标比较**

| 指标名称＼开采方法 | 房柱法 | 气垫法 | 水采与旱采比较 |
|---|---|---|---|
| 采层 | 浅层盐矿 | 浅层盐矿 | 一般埋深70～100米 |
| 劳动生产率 | 4～5立方米/工日 | 50～60立方米/工日 | 提高12.5～12倍 |
| 成本 | 3.2元/立方米卤水 | 地面：0.89元/立方米卤水<br>井下：0.50元/立方米卤水 | 地面水采为旱采的28%<br>井下水采为旱采的16% |
| 采收率 | 25%～30% | 35%～45% | 提高10%～15% |

**采自：云南磨黑盐厂《气势法技术小结》**

综上所述，我国第一个深层岩盐体的发现和钻采，改变了两千多年以来，川盐生产长期仰依自然卤水的局限，扩大了对盐矿资源的利用，开辟了卤源新的途径。为开发地下深层岩盐矿产资源开了先河。因而，在四川和我国井盐史上，具有划时代的意义：

第一，大坟堡盐体的新发现，开阔了人们的视野，拓宽了对盐矿资源的认识和利用，从而为地下深层岩盐矿产的勘探和开发，开创了先例。因此，这无疑具有重大的理论价值。第二，岩盐钻井水溶法的创建，是深层岩盐钻采重大的突破。该盐体于19世纪末创建了钻井水溶开采法，即以井组及多井连通开采，比西方要早约半个世纪，而且大大地提高了卤咸、卤产及经济效益，尤其提高盐矿采收率，获得了重大突破，开创了世界的奇迹，这标志我国钻采水平走在世界前列。为此，钻井水溶法的创建，具有重大的实用价值。第三，岩盐钻井水采比井巷旱采、具有工艺先进、开采合理、劳动负荷轻、工效高、成本低等优越性，取得了显著的经济效益。因而，具有重大的经济价值。

## 第五节　井盐笕管输卤工程技术的创建
## ——盐场运输的“大动脉”

在中国井盐生产过程中，盐业巧匠借鉴古时民间运用竹筒引水灌田的方式，从而发展和创建了笕管输卤工程技术，谓之盐场运输的“大动脉”。

盐业生产，无论是自然的泉卤或是人工开凿的井卤，卤水被采出后，都要转

送输卤上灶制盐，尽管输卤的方式有多种①，但它是连接采卤和煎盐之间不可缺少的一道工序。随着井盐生产的发展，采区不断地扩大，盐井逐渐地增多，卤水输送量的加大，并由于输卤距离的延伸，井灶的远离，于是，笕管输卤与其他方式相比，不仅大大减轻了劳动强度，而且极大地提高了工效，在盐场输卤中占据了主导地位，并逐步取代了其他方式，从井盐生产中分离出来，在为一项独立的工序。为此，笕管输卤工程技术亦应运而生，至清代在四川富荣、犍乐等盐场得到了高度的发展和完善。

笕管输卤是在没有机械动力加压的条件下，创造性地利用物理连通器原理及自然地势高差，铺设管道，上高山、下沟谷，连绵起伏，由远及近，即将卤水输往达数公里至十余公里以外的灶上制盐。蜿蜒交错在盐场的笕管，其工程浩大，技术精湛，它同高大的天车创造一样，可视为井盐科技史上重大的成果，都显示了人类的高度智慧和伟大力量。

**一、竹笕输卤技术的起源及其发展**

（一）竹笕输卤技术的起源

据有关实物资料及史籍记载，盐业用笕管输卤之法起源于汉代，如，《四川文物》（1984 年第 2 期）刊载汉墓出土的东汉井盐生产画像砖②，画面生活、形象地反映了竹管输卤技术的萌芽，从而为我们研究当时井盐生产提供了实物见证。

画像砖上清晰地显示出在四脚双层楼架上，第一层楼台右边安有一个储卤桶，输卤管线的一端与输卤桶底侧连接引出；管线的另一端，由上而下斜伸到地面，直到煎盐的灶上，又连接灶旁的一个储卤池。显然，地面灶旁的储卤池是接纳管线输送的盐水，以作制盐备用。这种输卤管线是什么材料制成的呢？据考证：第一，不可能是铁管；第二，亦不可能是陶管。联系古代灌溉采用“竹筒引水”之法，及川东汉代大宁盐泉以竹管输卤技术，可认定画像砖上显示的井盐生产中的管线为竹管输卤。

据（清）《大宁县志》（盐茶部）记载，于汉唐时期，从川东巫溪大宁盐泉安设竹管输卤到巫山制盐，“汉永平七年（公元 65 年），引此泉水于巫山，以铁牢盆盛之。”而且，沿大宁河古栈道上，铺设竹笕引水，至唐代，“栈道石孔沿宁河山峡俱有……以引盐水”③ 到大昌、巫山煎熬。此处“石孔”二字，即大宁河山峡悬岩壁上的栈道石孔。其“引”一字，即“引流”或“转输”的意思。上述两段史记，汉唐时期，都沿着大宁河栈道铺设竹笕，从巫溪大宁盐泉输送盐水至巫山，用铁锅牢盆煎盐。但这里要提及的是：以大昌古镇为中心，“南距巫山城（今巫山县）120 华里（60 千米），北距巫溪城（今巫溪县）120 华里”[33]。即由北巫溪县

① 转卤方式，系为人挑、船运或笕输等。

② 见本卷第三章图 2－1。

③ 冉瑞铨：《宁河古栈道》（载《巫溪（县）文史资料》1983 年第 1 期）。又，同文献云：所谓古栈道，即“石栈于悬岩绝壁上凿孔，孔中插入木梁（方），上面再铺上木板，险绝处旁，凿山岩而板梁为阁”。从大宁盐场至宁河南下的岩壁上，凿有四方形石孔，深约二尺许，石孔与石孔之间相距五尺许，形成一个倾斜向南延伸至巫山县境内，一般皆称宁河栈道·古栈道，以大宁盐场为中心，像蜘蛛网一样遍及四方，连接邻县。

作者注：1985 年，作者赴川东盐业考察时，沿大宁河悬岩陡壁上，古栈道清晰可见。



至南巫山县相距长达120千米①。为此，自汉至唐，从巫溪大宁盐泉沿栈道用竹笕长途运卤到巫山制盐，笕管之长，用笕之多，施工之复杂，工程之浩大，为世界盐史上罕见的宏伟工程。

追溯盐场上笕管输卤技术，是沿袭古时民间的竹笕引水溉田之法。据徐中舒著《巴蜀文化续论》中考证：在很古时期，一些边远山区（如，少数民族聚居之地），人民便用竹筒连接起来，引取山涧泉水用作生活饮水或农业灌溉，于是，以竹引水便出现了。此种引水方法称为“竹筒分泉”[34]。又据四川《云阳县志》（水利篇）记载：三国时，蜀国丞相“诸葛公教民始为竹筒引水法”，兴利农桑。这种引水法，与后来唐代诗圣杜甫，在川东白帝城目睹的汲泉输卤近同，《引水》：“白帝城西万竹盘，接筒引水喉不干。即系盐碛汲水之事……惟盐井效之。”[35]唐代，随着水利的发展，农业灌溉工具也有相应的进步。当时，除了已有的桔槔、辘轳、翻车还在普遍使用外，劳动人民又创造了连筒、桶车等灌溉工具。所谓“连筒”的制作方法，是用粗竹相连、打通竹内的关节，用以引水。它的优点是“能够架越涧谷，把水引到对岸。”[36]唐代著名诗人白居易在《钱塘湖石记》（《白居易集》卷六八）中，把引水溉田的“竹筒”称作“笕”，钱塘湖“北有石，南有笕。凡入水溉田，每减一寸，可溉田十五顷”。元代王祯著《农收卷一九·槽碓》中说，用笕引水舂碓，加工谷物，“碓梢作槽受水，以为舂也。凡所居之地，间有泉流稍细，可选低处，置碓一区……槽可贮水斗余，上芘以厦，槽在厦外，乃自上流用笕引水，下注于槽，水满则后重而前起，水泻则后轻而前落，即为一舂。如此昼夜不止。”此法，可舂米二斛，日省工二个，月积年累，获利甚多。明代宋应星在《天工开物·水利》亦说，用笕引水入田，“凡河滨有制筒车者，堰陂障，绕于车下，激轮办事转，挽水入筒，——倾于笕内，流入田中，昼夜不息。”为此，在古代，民间以“竹筒”引水灌田或饮用称之为“笕”。由上可知，井盐生产中输卤的“笕”管，是沿袭民间“竹筒”或“连筒”引水，即“笕”之谓称。

（二）竹笕输卤技术的进展

宋代，川东大宁监盐的产量迅速增加，在全川名列前茅。如，宋神宗熙宁中（1069—1077），岁额达400余万斤。并随盐产量的大幅提高，盐场“笕筒”输卤技术相应亦有较大的进展，当时，由宁河北岸盐泉采集的卤水，用“笕筒”输送到南岸煎制。人们把凌空渡河的“笕筒”，称为“绞篊”。

按宋代盐法规定：大井官自鬻盐，小井土民干鬻（“鬻”者，煮也）。大宁仅有一泉，官府决定由“民鬻”。于是，极大地调动了灶户的积极性，促进了盐业的大发展。然而，却又发生了新的矛盾——灶户之间“争水”，出现“强弱相凌”的现象。斗殴兴讼，层出不穷，严重影响了正常生产。宋太宗淳化二年（991年），大宁盐场调来一位监官名叫雷说，他知人善任，热心为民众服务。立即把“争水”问题当作头等大事来解决。第一，先在盐泉前砌一个储卤池，雕琢一个大的空心石龙头，安装在泉口处，让泉卤先流入龙头，再从龙嘴喷出注入卤池，卤池坐北

① 汤绪泽主编：《巫溪县志·文物古迹》（四川辞书版社，1993年）载“从宁厂起，沿大宁河右岸南下，至巫山龙门峡口，全程旧称270里”。折135千米与120千米超15千米。）





向南；第二，然后在卤池南边拦以横板，板面凿成距离大小相等的30个圆孔，池中盐水通过每个孔流出来，灶户分卤计量相等；第三，分别用竹笕承接引水上灶。这种输卤的竹管称作“笕筒”。史云：“宋太宗时，雷说知大宁监，见人争卤，强弱相凌，乃砌石为池，于泉口凿作龙形名为龙池。池前横木板穿孔三十，外接以竹（笕）引卤入灶（煎盐）。”[37]其引卤竹笕，谓之“笕筒”。雷说采取砌卤池、雕龙头、安孔板、接“笕筒”，从而圆满地解决了灶户的“争水”问题，故卤（水）池名曰龙池，大宁场又称龙池从此始。

大宁场的地形是一个峡沟，两岸峥崖削壁，中间一条小河。把盐场分成南北两岸。龙池位居河北岸，当时盐灶全建于龙池左右，逐渐沿山脚两侧延伸。自从雷说改进了取水方式，盐业有了迅速发展，灶户获利丰厚。由于新建灶越多，北岸无余地了。这时，新增灶户由北岸逐步向南岸扩展。但是，用竹笕引水的方法，南岸行不通——中间隔条河，河面宽约50～100米，一根竹笕不够长，多条竹笕连接起来又无处生根，盐水过不了河。此时，无法可施，只得采用老办法，以成百上千的人力挑水。这样一来，南岸盐灶成本大大升高，灶户获利少，经济上处于劣势。同一行业，由于利益悬殊，于是，又出现了“争水”问题，纠纷迭起，又延续了一百多年。

到南宋宁宗嘉定年间（1209—1224），大宁场又调来一名监官孔嗣宗。此人与雷说一样，为民尽职尽责。他面对这个老大难的问题，千方百计加以解决，终于还是想出了一个十分巧妙的方法——用竹篾绞成一条粗大的绳索，绳的两端分别挂在南北两岸的石柱上，同时，竹笕首尾亦分别相连悬挂在篾绳上，这样，盐水流过竹笕由北而南顺利地过了河。这条篾绳由低处看上去像雨后晴空中出现的一道长虹，横跨在小河的上空，故称“过篊”（篊音红），又名“绞篊”①。大宁盐场第一条“过篊”是每年冬十月初一，于是，每年十月旦日，引水竹笕拆旧换新，灶民歌舞相庆，官吏亲临之，欢度这一盛大节日，谓之“绞篊节”[38]。“大宁监孔嗣宗，又用篾篊跨溪引卤，而分之南（岸）十三眼，北（岸）十七眼，每岁十月更换新笕，为‘绞篊节’。”[37]这种纪念活动，历至元明两代相沿如故。

由上看出，宋代，大宁盐场调来两位知监雷说和孔嗣宗，他们深入实际，了解民情，兴利除弊，热心为民，功绩卓著。先后创造了龙头泻水，石池储集，孔板分流，笕筒及绞篊渡溪输卤等方法，使宝贵的资源得到了合理分配、输送及利用。缓解了南、北两岸盐场长期纷争、贫富悬殊及苦乐不均的问题。尤其“以斑竹连缀至数十丈或二三百丈，半由溪北接至溪南，径流注各灶煎之”法[39]，从而解决了南岸制盐长期以人力担桶挑水的极大困难。这充分说明，大宁场开创的“绞篊”跨溪输卤技术，已有了相当进步和完备，大大地提高了生产力，促进了盐业迅速的发展。

---

① 据作者实地考察：所谓“过篊”或“绞篊”，即悬挂（横河）引水竹笕的篾制牵绳，绳的两端分别固定在石条上。现在看，工程简单，但当时用这种方法输卤过河（即由北岸到南岸），还是卓有成效的重大技术措施。



（三）竹笕输卤技术的创建①

前已述到，井盐竹笕输卤技术创始于汉代。至清代，这种输卤技术在四川富荣（今自贡）盐场，获得了高度的发展和全面的完善。盐场笕管纵横密布，似网如织。横斜左右，望之如‘雁’字形，被誉为盐场运卤的‘大动脉’。见图7-9。

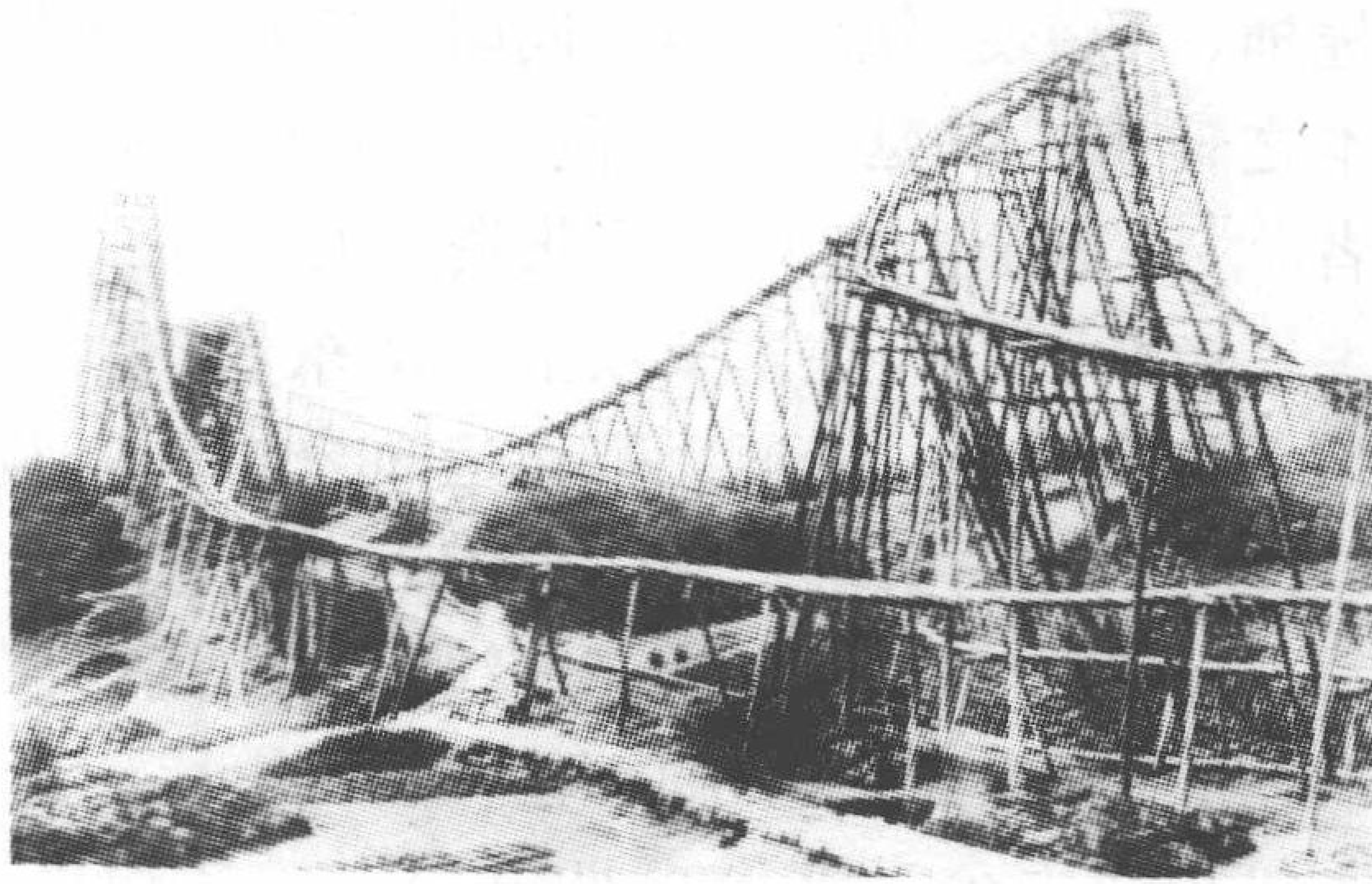


图7-9　自贡盐场输卤大动脉——竹笕输卤
采自：吴炜等《四川盐政史·图册》第三册

清代尤其清后期，随着富荣盐场井盐业的发展和兴盛，自流井构造地下的自然卤水和天然气亦步入了大规模的开发，而且天然气作为新能源投入了井盐生产。由于地质条件的制约，地下蕴藏的卤水和天然气往往不在同一采区。当时，天然气开采集中于构造核心部位，如，郭家坳、土地坡等区。因此，这里即东场出现了气多卤缺的情况。而卤水盛产于构造西端，如，伍家坡、黄石坎、长土等区。西场却又出现气少卤多的问题。且在富荣东西两场，其卤气、采区相距甚远，史料有明确记载：“邱垱（即西场区）多水，龙、新两垱（即东场区）多火，邱垱距龙、新垱十余里。邱垱之斜石塔有黄水，亦隔火井十余里。雇人搬难，且不足以济火，均由各处安笕，以通水运。”[15]为适应和发展井盐生产的需要。于是，采取“西卤东移”，相互调剂，这就促进了笕管输卤技术的迅速发展。时有所谓“十二大笕”之称[40]：

源远笕、源昌笕、源流笕、源泉笕、大通笕、大昌笕、大生笕、大川笕、福临笕、裕和笕、其昌笕、同协笕。

每条笕管铺设长的达十余千米，短的亦有5~6千米。“其绵亘交织总长不下二三百里”（折约100~150千米），且专门从事笕业的工匠及其有关人员达“万余人”[41]。

继后，东场杨家冲、大坟堡等区岩盐矿产资源的发现和大量的开采，卤源极丰，且咸量大大超过黄、黑天然卤水。于是，岩卤输送上灶煎盐逐渐取代了黄黑卤水。此时，自流井盐场，从大坟堡的岩卤笕管输送至郭家坳地区制盐的计有“十大笕”号[40]：

大通笕、源昌新笕、卿云笕、大同笕、全福笕、同富笕、一幅笕、达生笕、同新笕、恩流笕（不包括凉高山、黄桷湾至大坟堡的“半节笕”）。

在富荣盐场上，有井、笕、灶、号四大盐商之说，井商凿井采卤，笕商经营卤水运输，灶商凿井采气制盐，号（运）商运销盐载。这四大商中，视其经营能力及资本的多少，有的井、笕、灶、号一备俱全，如，大场主王三畏堂、李四友

① 竹笕输卤从汉代开始，宋代已初具规模，清代在自贡盐场获得了高度的发展和完善，并一直沿袭到新中国成立后。今盐业历史博物馆珍藏有笕管（实物）文物，这为本题撰写增加和提供了丰富的素材。





堂等。也有的仅其中一种或两种或三种。笕商不仅要拥有大量的井、灶及宽广的土地，而且还要有相当的地方势力，才能在五至十余千米的地区铺设笕管，建筑楻桶、马车之类的设施。同时，笕耗资巨大，“笕户主此者，非数万金不办”，“笕本之轻重，以延长为比例。笕愈长则本愈重，有数千金、数万金以及数十万金者”[37]。故此，笕业多系集资入股兴办，亦有独资经营的。

由此可见，在富荣场上，从东场到西场，笕管纵横穿插，遍布山野，翻山越峪，伏溪达岸，畅通无阻，运卤繁忙，其笕业的兴盛和发达，非同一般。这同林立秀插云霄的天车一样，视为古老“盐都”的繁荣和象征。

此外，在川盐各场亦广泛应用竹笕输卤上灶。如，在犍为、乐山等著名盐场，“由盐井出发点，盐水由笕竿送到盐灶。笕杆亦以竹制，产川省长宁、江安一带。每竿长二丈余。直径可四寸”[42]。其输卤距离最远者乃达“十余里”[37]。还有“云阳、大宁、井仁、资中、开县、奉节、万县、简阳、绵阳等十一场输送盐卤，多用盐笕，均灶户自备。……笕以楠竹或斑竹为之，制法与富荣笕相同”[37]。但这些盐场笕短而简陋，远不能与十分发达的富荣盐场笕业并论。

**二、笕管的构成及其制作工艺**

笕管即盐场输送卤水的竹制管道，“运水谓之笕。”它的构成及制作工艺，简言之，以“大竹通其节，以外麻约之，流水于中，三节五节至十节二十节，谓之笕”[15]。笕管铺设所经过之处“或埋土中，或悬岩畔，或架空中。”[43]因此，这种笕管制作精细，加工工艺水平高，具有适应远距离输卤安全，能承受较大的压力及防腐耐用的性能等优点。

笕管的构成及其制作工艺，史籍记载颇多，此将有代表的史记引摘于后：

清富顺县县令吴鼎立所著《自流井风物名实说》中述道：“以大斑竹或楠竹，打通竹节，用公母笋接逗，外用细麻、油灰缠缚，明暗高低，相地势而为之。”

清进士李榕在《自流井记》里云：“水、火之笕，皆以竹，火笕有用木者。笕外缠竹篾，篾外缠麻、油灰渗之，外不浸雨，内不遗涓滴。高者登山，低者入地，钩连支挂，虽长虹之饮涧，秋蛇之赴壑，不能伏也。小溪之井无火，置笕通咸水，经十余里，至荣溪西岸，复以石槽，伏行溪水中，达东岸。……两岸各高二十余丈，绵亘冲射，是为奇观。”

清丁宝桢主编：《四川盐法志》卷三“井厂三”中说：“竹笕，整竹中通，外敷油灰，束以麻，或有折竹缕束之者，两者皆适。注盐水由此达彼，多行地中。有沿山置架，高于纡折，行一二十里者；有置河底，覆以石槽，潜注彼岸者，运用绝巧。”

《中国工程师学会四川考察团报告》中记载较详，笕管制作方法：“用大楠竹通其节，续为之，两端接处用扣笋提衔。楠竹两根，谓这一担，其长丈二余。接成管道，用篾箍裹（每年换箍两次），以防曝裂，称曰‘草笕’，每担成本约洋六元。若裹以细麻，敷以油灰，重复三次，则可用一二十年之久，每担成本约五十元。”[42]笕管的构成，制作工艺及安装技术极为严格，主要包括精选竹料、通节铲平、两端做笋、箍篾加固、刮灰保护、晾干备用等工序。

第一，精选竹料。长距离输卤笕管，一般用楠竹，不用斑竹制作。制作时，



要选择竹龄在5～7年，竹身伸直，无破损迹，且竹筒内径“4～5市寸”（即132～165毫米）的楠竹为佳。

第二，通节铲平。竹料选好后，按规定裁成约3～4米长。用一种专门的铁制圆头工具打通竹筒内节；然后以另一种铁工具洗铲铲平竹节，使其平顺光滑。

第三，两端做笋（榫）。竹筒锯齐，用锋利的筒刀等工具，做成首尾衔接的公母笋，以便安装时接逗。

第四，箍篾加固。竹筒外面，要用竹管划成的薄篾条（即竹皮划成的青篾或青篾以后剩下的黄篾），按一定的花序密接捆扎，并用竹楔楔紧加固。竹管径箍篾加竹楔后，一般可承受8～10千克/平方厘米压力。

第五，刮灰保护。根据地势的高低，和笕管承受压力的大小，笕分为草笕和灰麻笕两类。草笕仅箍篾，承受压力小，用于下坡和平地输卤；灰麻笕，除箍篾外，还要缠绕麻纫子、刮油灰、包布等。因此，灰麻笕承受压力大，可达约11～12千克/平方厘米，上坡输卤或地势高差大时宜用之。同时，灰麻笕比草笕更有防腐耐用的性能。

第六，晾干备用。草笕随做随用，但灰麻笕要搁置阴凉处晾干后备用。一般晾干要半个月左右。

**三、笕管的安装工程技术**

笕管制作成功后，即可进行铺设竹笕工序。

清代，关于竹笕的铺设已相当科学，并日趋完善。其安装工程技术，从竹笕铺设野外线路的勘测，笕管的接逗，卤水的转移分流到出水标高位置的确定，均与现代管道输卤技术基本一致。

（一）开河量道——竹笕铺设线路图的勘测

笕管安放工程技术，最重要的问题，即是要出水口低于进水口，至于笕管途中所经过的地方，尽管高低不平，连绵起伏，要逾山渡河，只要不高于出水口，就无关系，但如中途安转水笕窝或腾沙窝等设备，则又须选择高地，其上不高于上段管线进水口，其下不低于下段管线的出水口为佳。为地形测量的需要，当时发明了“开河”，史称“测平水仪”[39]，即一种土制“水准仪”。这种仪器，可测量地形相对的标高，为笕管铺设线路图的勘测（俗称“开河量道”）创造了条件。

1.“开河”——土制水准测量仪

所谓“开河”及制法：“部竹数尺，两端留节，而刳其中，注水以测高下。”[39]“以一大楠划去半边，两头留节，内面装水。一头一把五尺，上照一线，在尺上选除，如前面高一尺为上水，矮一尺为下水。”[44]关于“开河”附件颇为简单，测量极为方便，主要有：

第一，河竿。以4米长的斑竹制成。即正中一节砍开削平成凹形槽口，作测平水用。

第二，五尺。即为普通工匠所用的五尺，木制或竹制均可，作测量尺寸用。

第三，麻绳。用麻绞成，粗如灯芯，长约300米，测量时，牢钉于地，假定为安笕的线路。

第四，撑竿。以斑竹做成，长短各备1～2根，测量时撑起河竿悬空一端，借





此以量出地形的高低。

第五，木桶及水筒。均用作盛水，并以水筒舀水顷在河竿中间水槽里，供测水平之用。

第六，竹精。即为一种尖形的小竹片，大小均可，测量时，用此钉在河竿放置地一端的支撑点，作管线的标志。

2. 开河量道

开河量道工作，总计需用六人同时协作进行。二人量尺、打记，二人提水、舀水、看水，二人画码子。其测量步骤和方法：

第一，拉绳钉线路。把麻绳拉伸钉在地上，便是安笕的线路，如发现不合适时，再行移钉。

第二，循着麻绳的方位量水。即将河竿的一端放在第一根竹精的桩头上，再将另一端提起，在平水槽内灌满水。提起的高度，以水平于槽为适度。

3. 测量上水或下水的高度

河竿被提起的一端，挨着一根撑竿，竿须垂直，其垂与否，以麻绳系石块来看齐为准。竿下钉第二竹精作标志，名曰打记。河竿成水平，一端挨着撑竿的交点，便是上水或下水的高度。用五尺量好，由另一人记明。如此遵循预定的笕路方位进行测量下去。

4. 计算余水

在测量的一段距离内，把所有下坡的低度尺寸，累加起来，名为下水。又把所有上坡的高度尺寸，累加起来，名为上水，再在下水的总数中减去上水的总数，所得出的数字，即为余水。笕管安置线路能否输送卤水的关键，其决定是否有余水。

（二）笕管安装技术

竹笕安装技术，按工程项目和工序划分：一是铺设笕管；二是马车提水；三是笕窝分流。现述于下：

1. 铺设笕管

将制作好备用的竹笕运往工地，按勘测的线路铺设。铺笕时，随铺随逗。逗笕，则是先在公笋上缠麻，抹上油灰，乃逗入母笋里，用两绳圈分别套在两根笕上，再把两绳的圈套在一根绞棒上，并用帮竿绞转，即可使两笕公母笋紧接。然后再在接头的外面缠麻、刮油灰。

铺笕中，视地势安置，有的笕就地铺在地上，有的笕还要搭架悬空铺设。铺设在地上及搭架悬空安置的竹笕，都仅用箍篾的草笕；埋藏在地里的，用单麻、灰或双麻、灰的竹笕；沉在水底里的，则用三麻、三灰的竹笕。

草笕最多可用十余年，渡河三麻、三灰的竹笕，一般只用6～7年。草笕一年内分段轮换篾箍两次。同时，每年还须通笕，清除笕内阻塞物，使输卤畅通。每天还要派工匠沿路来回检查，巡视竹笕有无破损，如一经发现笕裂漏水，便立即修复，减少卤水的流失。

2. 修建马车提水笕楼——以马车为原动力的加压装置

竹笕在长距离输卤过程中，翻山逾峪，因受地势高低的限制，管线的某些段



中出现进水口低于出水口的情况，这时，就要提高进水口位置的相对标高，产生进出水的压差，便可使卤水自流输送（以此区别现代机械自动加压输卤）。由此，先民们创造了马车（或骡车）为原动力的加压装置，俗称马车提水。当时，即是一种先进的输卤方法①。如，甲山与乙山相对，并且比乙山高数米，可将竹笕埋在土内。由甲山到乙山，这时，盐水便可凭借水头（压力），一直流到乙山的山顶，不需人力、马力，就能流行数千米。如果没有地势高差的山头，卤水便不能自流了。这时，就要沿管线修造马车数座，管线便能翻山越岭，穿过沟峪。清人吴鼎立在《自流井风物名实说·笕说》中述道："如无对山，不能冒水，则相山之高下，修造马车数座，翻山越岭，由河底过。马车以大木四根，四方矗立，中以小木横逗至顶，镇楼覆之以瓦。车盘斗子用推之，水即运上。其车盘仿钟表之车子，斗子仿吊钟之链子，一上一下，水即由此升。"清代盐商杨乐山在笔记《计开富荣两厂办笕安笕一切规模列后》中载道："笕水由矮处放高处，则用马车。"又说："车楼三丈，楼中一孔，安立轮车子一架，上挂斗子六十、八九十个不等。其斗子如银肖箱箱，上下有耳，以铁信子拴之，挞在立轮上，一上一下车水。水至立轮顶上，倒在车心内面水掌盘内，引入内水槽，流在转桶，随笕流去。其立轮上面，靠一平轮，绑马杠一根，系一肥大骡子推之。马上马车楼上，则于马车侧边高处，修砌码头达杉木桥，达拢马车门，左右两面用杉木挟定栏杆，木桥上面石板，名曰'行桥'。"民初《中国工程师学会四川考察团报告》中，对马车的结构及提水方式记述较详，竹笕输卤，在地势低洼处修造马车楼，"笕楼以大木四根为柱，高约二三丈，顶覆以瓦，楼中设车盘，有齿轮，与盘下小齿轮提衔。车盘平置，小轮立置，其提衔处，与钟表相似。另制长方木桶，有床无盖，名曰斗子，两端有耳，互相衔接，贯以铁闩，使能左右活动。依楼之高低，计斗子之多寡，令其首尾相连，作一练圈套子横木之上，而横木扦于小轮中心，可随之而转。楼下地面，凿一洋池，盛以盐卤，斗子连圈之下端，须浸于卤内。楼中车盘，用牛或马拉之，车盘动，小轮转，斗子随之循环上下，将卤水由池汲至楼面，倾入盆槽，灌入笕中。若之出口过高，一楼不能完成灌道工作，则逶迤建二、三楼至十余楼。挨次输送，务达适当高度为止。"[42]谭旦冏《中华民间工艺图说》中云："马车是用木柱支架起来的碉楼形的房屋，有名为行桥的梯，作为上下之用。马车上安有平轮、立轮等木质结构，两轮都是安在牌坊架上的，牛拖转平轮，立轮因之转动。立轮上如练形的许多斗子，从马车地下楻桶的卤水，一斗斗地汲起上来，由转盆经水槽流入出山桶，再分流各灶。"[44]"马车以大木四根，四方矗立（木柱），中（间）以小木横逗，至顶建楼，复以车盘斗子（类同农村用的水车），用马（转轮）推之，水即运上（把盐水提升高到楼上）。""由盘而笕，纵横穿插，踰山

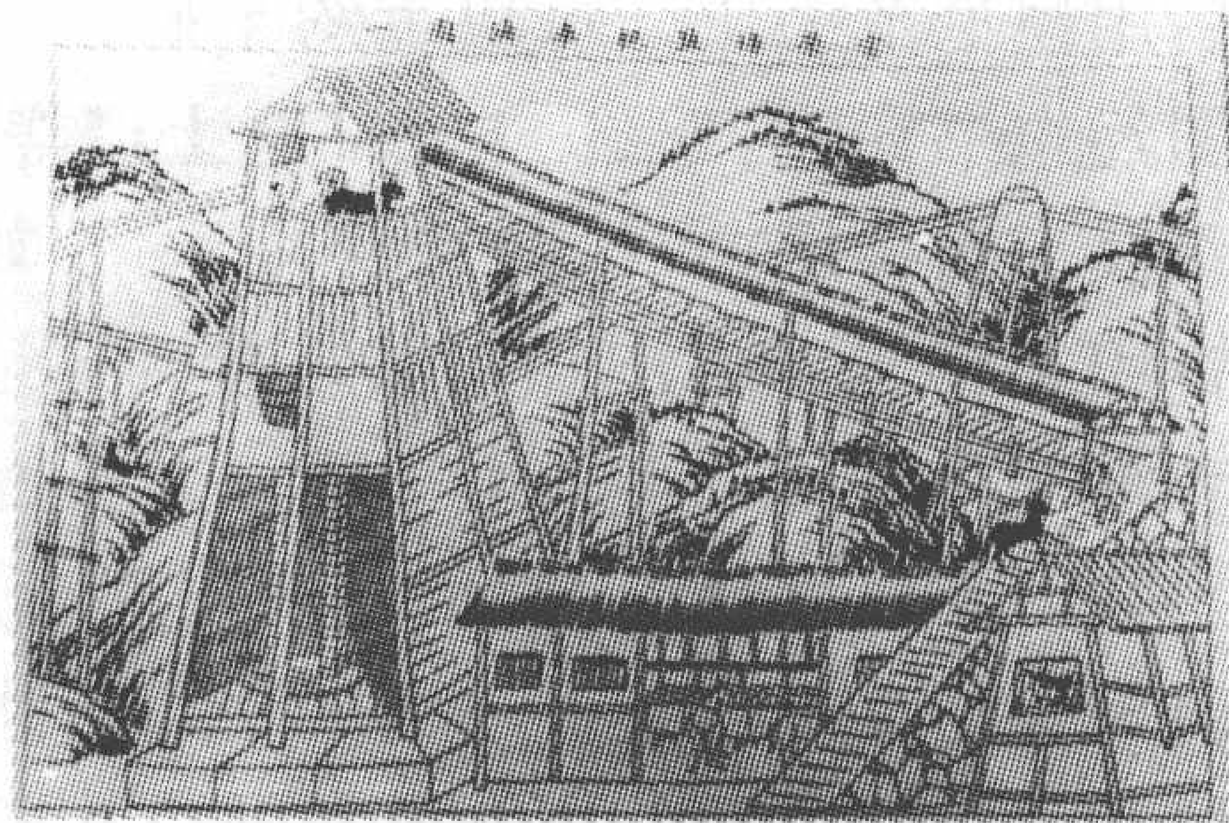


**图7－10　马车提水输卤笕楼**

**采自：《四川盐法志》卷二**

① 关于提高进水相对标高，有马车提水或龙骨车水，马车提水更能提高工效，具有代表性。

渡水，可（输卤）一二十里，四达旁流”[39]（见图7－10）。

3．安置枧窝转水分流

前已述及，竹在输卤时，如遇低洼之地，得建笕楼。但地势转弯之处，则安置枧窝。所谓“枧窝”，即“用大木桶一、或石缸大二、三尺，谓之枧窝。（安置枧窝）以竹枧逗之，即可曲安过去，水之多者，一窝三枧，即安竹三根也”[15]。“枧窝，锉石或木为之，凡置枧接笋转折处必用之，所以停储盐水，达于四旁也。”[45]“上下封盖，旁凿两孔，随其应转之方向而定，笕贯孔内。因竹笕不能弯曲，故以此代之。”[37]这种笕窝，具有改变竹笕方向、转水分流，沉淀杂质、方便疏通笕管等功用。

综上所述，我国古代井盐生产中的输卤工程技术，则是古代工匠杰出的创造，它运用了物理“连通器”和“开河”即“水准仪”的科学原理，其设备、仪器简便独特，解决了长距离输卤过程中的一切复杂问题，已形成了一套科学的、完备的输卤工艺体系，成为盐场运输的“大动脉”，为推动井盐的发展起了巨大的作用。且这种竹笕从古代一直延续到新中国成立后。同时，井盐输卤工程技术，与现代油、气管道安装工艺类同，从而对工业技术革命，产生了深远的影响。因此，我国井盐输卤工程技术，在世界盐业史上，应有它的一席之地，是不可缺失的篇章。

## 第六节　滇盐矿山开发的简单历程①(汉至清)

云南盐业，开发较早，史有川、滇之盐汲井并称[46]。为此，除四川井盐外，云南则为我国又一重要井盐生产基地。

云南地处边陲，山多地少，自古贫穷。然而，云南地下卤盐资源的发现和开采，给滇省人民带来了巨大的财源并对其政治、经济及社会生活产生了重大的影响。元代来我国的意大利旅行家马可·波罗，曾到云南腹地，亲自看到当地皆以盐业为生之人，《马可·波罗游记》（第一至第六章）中说到当时的情景：“其地有井盐……其地之人皆以盐为活。”同时，《游记》又说，以盐币作流通货币，云南“其所用之货币则有金条，按量计值，而无铸造之货币。其小货币则用盐煮之，然后用模型范为块，每块重约半磅，每八十块约值精金一萨觉”[47]。明景泰《云南图经志书》卷四云：“楚雄府土产黑盐，煮黑、琅等井之卤泉为之，每块重二两，军民交易皆用之。”同文献又云：“姚安军民府土产白盐，产于白盐井，军民交易皆用之。”《云南图经志书》卷五述道：“丽江府兰州土产块盐，土人煮卤为之，大者重一斤十两，小者重一斤，交易皆用之。”康熙《元江府志》卷一说：“今易以土盐。彝民称便。”雍正《临安府志》卷七又说：“交易用盐为货。”“以盐为币的时间长达千年之久，一直延续到本世纪（系指20世纪——作者注）中叶”，“在中国几乎是仅见的；在世界各国，其流通时间之长亦是罕见的”[48]。可见，云南以盐

① 云南盐业，乃是我国古代除四川以外，又一重要井盐生产基地。但因其古代开采技术落后，其方式与四川不同，应设专节撰写为佳，以反映云南盐矿开采的简单历程。



为币，是一大奇观。所以，阿昌族曾把盐叫“盐宝”，傣族将盐称为“白色的金子”。盐税为历代王朝国库收入的一个重要来源，历史上，云南的盐税在财政收入中居第二，仅次于田赋。[47]

“滇南大政，惟铜盐关系最重。”[48]又，檀萃《滇海虞衡志》卷二载：“滇南大政，惟铜与盐。”云南盐业，历史悠久。从公元前110年至清代，历时长达2 000余年，云南卤盐资源的开发和利用，根据开采工艺及年代的顺序可划分为泉卤采集阶段（汉晋时期）、凿井采卤阶段（唐至清乾隆后期）、岩盐的发现和开采阶段（乾隆五十八年至清末）三个大阶段。

当然，卤盐开采阶段的划分，不是绝对的，而是相对的。如，泉卤采集始于汉，井卤采汲始于唐，但至今有的盐区仍然在开采，这虽不能代表现在矿山开采的主流，而却又存在，因此，井卤采汲仍划分为矿山开采第二阶段，泉卤采集应划分在“盐井”出现之前，即第一阶段。

**一、泉卤采集阶段（汉晋时期）**

盐泉给人类传来了宝贵的地下资源信息。自然盐泉，当其在地下地质条件合适的地方，自流出露地表，给人类送来了“宝贵”的财富，同时又给人类传递了信息，即作为一种天然的找矿“标志”，预示地下埋藏有丰富的盐卤资源，从而启迪人们不断向地下开拓，以索取更多的盐卤资源，造福于社会。人类认识自然资源的规律，总是由表及里、由地面至地下，直到揭开地下的秘密为止。人类在认识和开采地下盐卤资源过程中，盐泉起到了很好的先导作用。云南盐史诗歌里反映了这种自然客观规律：“万春山下古盐泉，卤脉开从众井先。”[32]“泉卤恣自流，采集数百年。”① 盐泉的采集和利用，始于盐井开凿之前，亦延续盐井开凿之后，解放后，有的井盐生产地区，仍用泉卤煎盐，如，云南20世纪80年代尚有黑井、石羊两县隶属盐厂和云龙几个乡镇经营的小型企业，仍利用盐泉为原料。生产食盐。

据滇盐历史籍（唐）樊绰著《云南志》卷七记载，云南挖井采卤始于唐（代）。自此，云南才有盐井的出现。那么，在此之前，云南皆为盐泉或盐池采卤煎盐。其泉分布之广，泉采集时间之长，为滇盐史上重要的阶段，今说滇盐历史悠久，则盐泉为其悠久盐史立下了不可磨灭的第一功。因此，泉卤的采集和利用，在滇盐史上占有重要地位。

清人王守基在《盐法议略·云南盐法议略》一文中说：“滇、蜀之盐皆产于井，蜀井凿于人，滇井则成于天焉。”故有“滇盐则成于天”之说，即自然盐泉形式出现的。汉时，在云南安宁、大姚及云龙一带已产盐。据《新纂云南通志·盐务考》证实：西汉武帝元封元年（公元前110年），益州郡的连然（今云南安宁县）置盐官词[49]。又《后汉书·西南夷列传》云：“盐州郡……有盐池田渔之饶。”这说明至东汉时期，云南连然县还继续产盐。1983年，经地质普查勘探证明：今安宁矿区，石盐系地层分布范围80平方千米，平均含盐层厚563.14米，石盐矿 NaCl 平均含量为65% ~70%，$Na_2SO_4$ 平均含量在20.08% ~27.82%之间，石

① 1976年，作者在云南一平浪盐矿采集。





盐 NaCl 埋藏储量为 136 亿吨，钙芒硝 $Na_2SO_4$ 储量为 72 亿吨，确定为一特大型石盐、钙芒硝矿床[50]。并且，该区在清代以前，一直是云南井盐主要产区之一。又据晋常璩《华阳国志·南中志》载道："晋宁郡连然县有盐泉，南中共仰之。"由此可知，早期安宁县有泉卤煎盐是置信的。"唐有李阿召者牧黑牛，饮于池，肥泽异常。迹之池水，皆卤泉。报蒙诏开黑井。"[49]狼井、黑井，因狼与黑牛舐盐地知盐，故名之[51]。动物饮水或舐盐地。首先发现盐泉，然后古人才开凿盐井，故以动物名命井名，这与蜀省川东白兔井和白鹿饮泉而发现大宁盐泉雷同。

云南境内盐卤资源丰富，储量巨大（280 亿吨）①、埋藏浅（构造轴部一般 50 米左右）、分布广泛（滇中、滇西及滇南等广大地区），因此，地下卤水（包括原生沉积卤水及次生卤水），在地质、地貌、水文地质等特定的条件下，很容易在地表露头，形成盐泉。云南省内的盐泉，就地理而言，星罗棋布，遍及滇中、滇西、滇南及滇东北一些地区。据《云南省主要盐泉一览表》[50]，盐泉分布的地区及名称如下。

（一）滇中地区盐泉所在地计 22 处

大姚石羊有五福井、观音井、白石谷、安丰井、石羊东南。

武定有白露。

禄丰有横山井、黑井东北、黑井北复井、联升井、黑井万春井、黑井裕济井、黑井南硝井、东宝龙井、龙川江东岸、草溪井、葫芦塘、沙锅菁。

禄劝有硝井。

大姚有龙街糯那、龙树村（六苴）。

元谋有江边盐水井。

（二）滇西地区：盐泉所在地计 9 处

兰坪有期北井、金顶南温井、金顶老母井。

云龙有顺荡井、师井、文兴东南、石门大井、宝丰东北、诺邓。

（三）滇南地区：盐泉所在地计 27 处

景东有文道英。

镇沅有里葳、恩乐、恩乐、恩乐、小井、大街井、平掌、平掌、恩孔井、黄庄。

景谷有抱母街、文海、文海、永平、茂篾、徐孔井。

墨江有茂铺。

勐腊有大荒坝、象庄、沙仁、勐伴、勐伴、钵蚌、曼当、曼江、回欠。

（四）滇东北地区：盐泉所在地计 9 处

盐津有县城北。

威信有瓦石大号上、瓦石隔当井、瓦石竹林脚、长安徐家井、麟凤柴家井、盐井坝、四旺井。

镇雄有罗坎温水。

---

① 据黄培林、钟长永编《滇盐史论·前言》（第 6 页）："目前全省已探明总储量（NaCl）……已达到 280 亿吨。"四川人民出版社，1997 年。



据以上统计，云南盐泉有以下特点：

第一，云南省境内主要盐泉所在地总计67处，其中，滇南27处，为滇省盐泉之首；滇中22处；滇西及滇东北分别为9处。

第二，据地下卤水生成不同，盐泉可分两种类型：一种是由原生沉积的天然卤水；另一种是岩盐溶解形成的卤水，前者为原生卤水，后者为次生卤水。“结合盐泉的开采利用情况分析，认为绝大多数盐泉深部均有盐矿层存在，黑井、石羊等矿区的普查勘探结果得到证实。因此，盐泉也就成为岩盐矿床的重要找矿标志。

第三，盐泉产出地层，“除滇东北的盐泉于上震旦统含盐层中外，其他地区的盐泉，赋存的地质时代大部分与固相岩盐矿床的时代相同。”[52] 即盐泉主要产出于上白垩统至古新统地层中；其次是上侏罗统。

第四，盐泉含盐量变化大，最低含盐量5.94克/升，最高含盐量301.27克/升，一般15～70克/升。总的来看，泉卤咸量低、卤淡。

第五，泉卤采集方便，使用工具简单：“就近掘坑积卤，以瓦、牛皮兜及木桶提运。”[50] 比起井卤采汲，可节省大量人力、物力及财力。缺点：卤咸淡量少，有“汲泉常常涸”之说，但也有的盐泉卤丰咸重。

由上可知，汉晋时期，云南盛产食盐，即采集泉卤煎制成盐，成为滇盐史上的重要阶段。

## 二、凿井采卤阶段（唐至清乾隆后期）

### （一）云南凿井的出现

凿井采卤，是在盐泉基础上发展和兴盛起来的。因为井卤不是在地表，而是在地下，所在，要凿井采卤，以此亦区别于泉卤。“天生斥卤实不测，不生于水生于山。”[53] “黑井尘封白井开……灶户挨班打水回。”[54]

在唐代的盐业（包括海盐、池盐、井盐等）生产中，井盐生产是一个重要的组成部分。当时，四川大口盐井生产发展到了一个高峰，“有井640口”。唐代，云南盐业生产也得到迅速的发展，出现了以“井”命名的“盐井”。唐时，云南开凿盐井的原因，据《云南省志·盐业志》（1993年出版）载，“地表盐泉是云南各族人民最早获得食盐的来源。盐泉采汲日久，难免发生泉眼堵塞或水枯卤淡。这时加以疏浚，寻求卤源，由此导致人工凿井。”《新纂云南通志·盐务考》（民国三十八年版）述道：安宁盐井于“唐武德元年（618年），有东川人牧羊舔出盐，遂开（盐）井”。这条史料记载了牧羊舔盐（可能是羊舔盐泉水或泉卤出露地面，水分蒸发结晶形成的盐，羊舔盐），于是人们才发现地下卤水，遂开（盐）井。请注意，此处讲的是“开井”，由此区别盐池、盐泉。而且“开井”年代是“唐武德元年（618年）”。这是云南凿“井”最早的记录。又载：“唐有李阿召者，牧黑牛于池……池水皆卤，报蒙诏开黑井，井民世祀之。”唐樊绰在《云南志》卷七中亦说，安宁城中的盐井，凿井深度达到了“八十尺”。由上述史记认为：滇盐史上最早凿井始于“唐武德元年（618年）”，即盐井的出现。自此，滇中和滇西陆续出现凿井汲卤的井场，以卤煎盐历时1 000多年。唐至明代每代都有新井增加：“计唐代新开六井，包括滇中的黑井和狼井，滇西的白井、丽江井、老母井及弥沙井（乔后小井）。明代新开五井，包括滇中的阿陋井、草溪井、枳旧井及元兴井，滇

西的乔后井（由小井发展到大井）。足见，由汉代至明代的1 800年中，云南盐业产地主要分布在开发较早的滇中和滇西地区。至于滇西南和滇东北广大地区，在清代以前，虽有当地居民自煎自食的土井盐，但产量极少，未形成重要的食盐产地。”[50]

清代，凿井十分盛行，盐井获得突飞猛进的发展。如，除增开滇中的永济井（今元水井）、滇西的拉鸡井（今兰坪盐矿）和安丰井（属白盐井）外，还相继在滇西南广大地区开发盐井，其中包括康熙元年（1662年）开滇景东井。雍正初（1723—1736），先后开景谷县的抱母、刁孔、香盐、茂篾四井；镇元县的按板、恩耕二井；普洱县的磨黑、乌得二井；江城县的勐野井。乾隆重五十八年（1793年），开普洱县的石膏井。道光元年（1821年），开景谷县的益香井。宣统二年（1910年）又将今勐腊县的民间磨歇井收归官办。清代，尤其滇南相继开发了13井区，下辖井50多处[50]，成为云南开井最多的地区。

在上述各井中，云南有两口著名的盐井，一口是白井，另一口是黑井，白井和黑井，都是云南盐史上开凿较早的规模巨大的盐井，很具有代表性。

白井，又名白盐井，位于云南大姚县石羊镇（原置盐丰县），今石羊盐厂所在地。据史载：白盐泉发现于汉，开井起煎于唐（代）。刘琳《〈华阳国志·中南志〉校注》引（明）谢肇淛《滇略》云：唐“南诏时有女牧羊于此，一羊舔土，驱之不去，掘地得卤泉。因名白羊井，后讹为白盐井”。又，（明）倪辂著，杨慎增补《南诏野史》卷下“盐井”载：“滇中四十处，惟楚雄府姚州之白井，楚雄县之黑井、琅井为佳。”还有云南《盐井志》记载更具体：白盐泉始于汉，开井、采卤、煎盐起于唐代天宝年间（742—756），即白盐井汉代为盐泉采集，唐代凿井汲卤制盐。其曾是云南早期采卤煎盐的大型盐井，盐产、盐课，明清极盛一时，“最高年产盐，销额六万吨”。这口古盐井，一直延续到当代还在开采。

旧名黑井，今称黑井盐厂，位于云南禄丰黑井区。史载：黑井凿井汲卤始于唐天宝年间（742～756年）[55]。从元代至明清时期，曾是滇中的主要产区。该井，在历史上盛产次生天然卤水，有云南“第一泉”之称。泉卤主要分布在黑井背斜西翼，龙川江西岸，南起硝井，北至横山井一带，长20千米，宽1～3千米的广大地区，都有盐泉出露。早年黑井的开发和利用，即在龙川江西岸山麓一带凿井、采卤及煎盐。现在黑井盐厂，仍用老井继续小规模生产。

云南从自然盐泉采卤，到凿井汲卤，是镇盐史上一个转折点：

第一，反映云南的先民对地下地质和盐卤资源，有一定的认识和了解，从而，由地面向地下发展。

第二，从“盐泉”到“盐井”，从（地表）“泉卤”采集到（地下）“井卤”采汲，虽然开采的都是液相卤水，但是，这在卤源开采方式上有了新的突破，是滇盐史上一个大的发展和飞跃。

第三，采掘生产工具有了改变和发展。生产工具是生产力的重要因素和标志，给矿山采掘方式带来新的变化。早期泉卤采集以瓦、牛皮兜等原始工具提运，而



井卤采汲，则用竹竜①、辘轳发展到机械抽卤，同时，运卤用竹槽或木槽输送上灶。为此，井卤的采汲和利用，则是云南盐业史上又一个重要阶段。

（二）云南卤井采汲方式，随井型和井深而异

根据生产力的发展，卤井的采汲可分为工人采卤和利用简单机械汲卤。这两种采卤方式延续时代较长，劳动负荷重、工效低。

人工采卤，适用于大口浅（斜）井，以木桶等容具盛取井下卤水，人工背负出井，为一种原始的采卤方式。

简单机械采卤：包括辘轳及竹竜，仍是早期的简单机械采卤。

辘轳：用于直井（大口竖井）采卤。它是一种简单机械装置，以木质轮轴制成。云南辘轳采卤早起源于何时，目前尚缺乏考古材料和史籍记载，本节前已述及，唐代云南出现直井，这一时期，有可能采用辘轳汲卤。但，根据史料确切证实，清代康熙年间，滇南盐驿使李宓[56]，“命画工细绘”成《滇南盐法图》卷中的云龙石门采卤车，真实地反映了辘轳采卤生动的场面：即在井口安置木质辘轳，以皮绳下端悬吊木桶或牛皮袋，每架辘轳配备 2 ~ 4 人，操作时用手转动或用脚踩动辘轳，提升井下卤水（见图 7 – 11）。

“竹竜”抽卤。“竹竜”用于斜井抽汲提升卤水。唐代开凿直井采卤，唐以后发展到了斜井抽卤。尤其于明、清之际，在云南云龙、黑、白等著名井场，大量开凿斜井抽卤。其抽卤的工具和方法：每条竹竜，以直径约 10 ~ 20 厘米，长约 2 ~3 米的圆筒竹，打通筒内竹节，一端装置沙帽头（即牛皮塞），另一端插入抽杆（杆头扎有牛皮兜，俗称“筒皮碗”），即为制成一条竹。

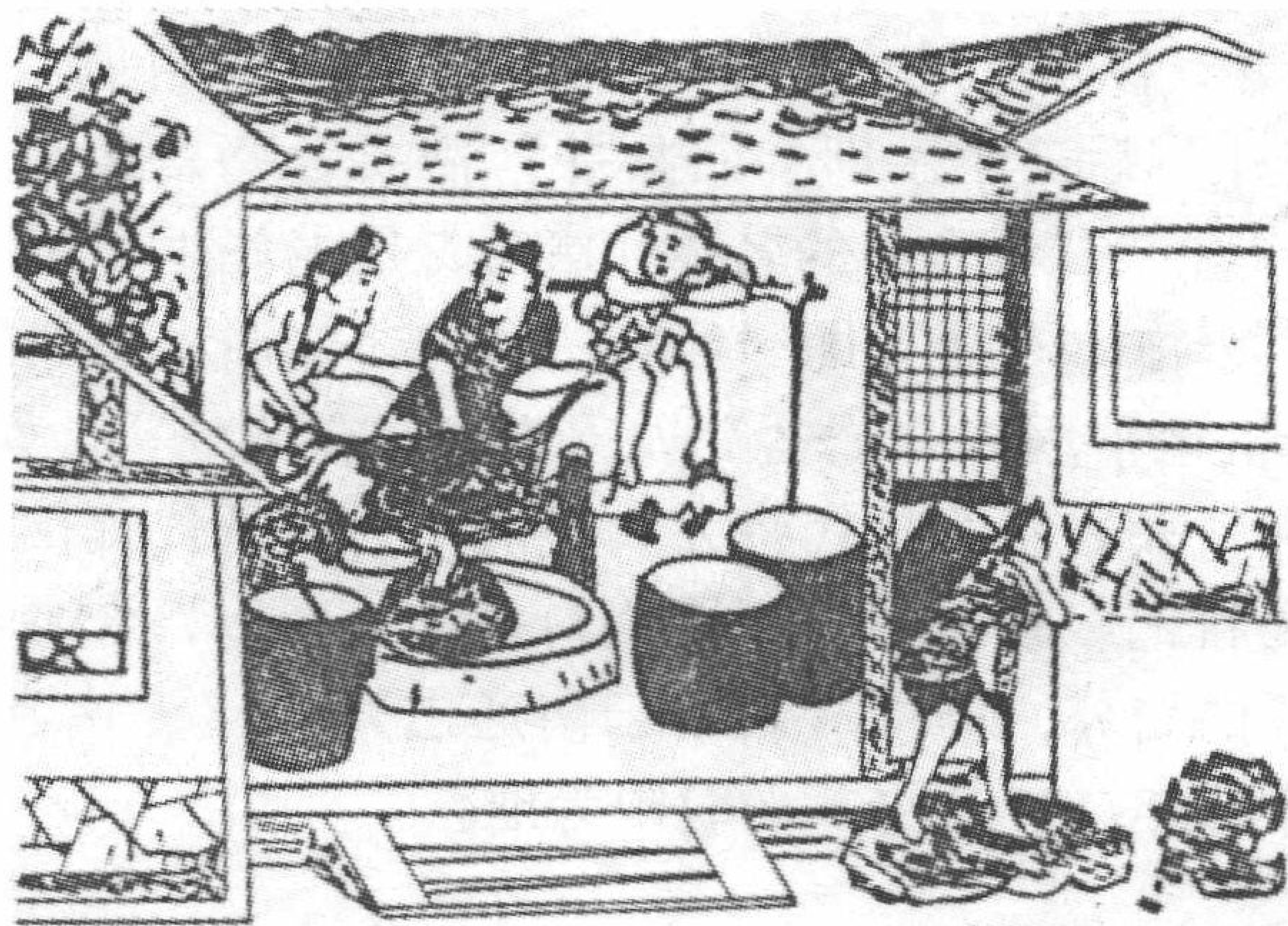


**图 7 – 11**

**采自：《滇南盐法图》中的云龙石门井汲卤车（清代）**

**中国历史博物馆珍藏**

依井的深浅和斜坡缓陡分段安置相应数目的“竹竜”和转卤箱（称名“卤盆”或“水套”），每条竹竜配备“竜夫”（即抽卤工）一人。井浅者安置竹 3 ~ 4 条，

---

① 竜：音垄，竹竜即用直径约 10 厘米竹筒制成的抽卤工具。





深者多达30~40条。利用唧筒的原理，抽汲卤水（每小时抽汲40次），由井底至井口逐级将井内卤水抽出地面，俗名“竹竜”抽卤。

**三、岩盐的发现和开采阶段（清乾隆五十八年至清末）**

（一）岩盐的发现

在清代以前，云南盐业产地，主要集中在滇中及滇西地区，分布不均，发展不平衡。清代，云南井盐生产获得了飞速的发展，迄汉唐以来的鼎盛时期。这时，云南除在滇中及滇西开凿新井外，同时又在滇西地区开发盐井，增产食盐，以满足人口增长的食需。尤其滇南新盐区的发现和发展，打破了云南原来盐业产区的旧格局，从而形成了以滇中、滇西及滇南三足鼎立井盐生产的新格局。“这个格局，仍是近代云南产地布局的雏形。”[57]清代，在开凿新井中，石膏井为云南最早发现和开采地下固体岩盐。据《新纂云南通志》卷一四七云：“清乾隆五十八年（1793年），石膏井凿成，建井槽二口，用沙丁（矿工——系作者注）采挖”矿石，“生卤系属矿礁（岩盐），先入釜溶化，炼去渣滓，再煎成盐”。这条史实，是云南发现和开采地下岩盐，并以岩卤煎盐的最早凭证。云南地下岩盐的发现、开采及利用，扩大了制盐原料——卤水的来源，改变了长期依赖地下液体——卤水煎盐的被动局面，为云南近、当代井盐（包括化工业）生产的大发展，奠定了丰厚的物质基础，可以说，在云南盐史上具有划时代的重要意义。自此，滇盐生产技术跨入了崭新的阶段。

可能有人问发现岩盐的先知是谁，恐怕是无名英雄了。好在石膏井遗存，今彪炳史册，万古传颂！

在此，还需要提及的是唐人樊绰著《蛮书》卷七（又名《云南志》）① 记载：“安宁城中皆石盐井，深八十尺。城外又有四井，劝百姓自煎。”这条史料开头句：“安宁城中皆石盐井”后三个字即“石盐井”需要考究其含义。所谓“石盐井”，即是“石盐”与“井”二者合一的名称。唐时，樊老先生专用了“石井盐”这个名称。众所周知，今称“石盐”即“岩盐”而言。当时，史载的“石盐”及“石盐井”，是否亦是指地下固体“岩盐”及开凿的“岩盐井”，如果该条史料成立，那么，云南发现和开采岩盐的时代将大大提前，则由清代提前到唐代，比现在约早千年之久。因史料记载较原则，又缺资料佐证，所以，作者经反复考究，关于云南岩盐开采阶段的划分，仍按《新纂云南通志》及《云南省志·盐业志》等，确定为清乾隆五十八年（1793年）的时限为准。

（二）人工采掘法②

关于人工采掘法，即全为人工手持钢尖、铁锤等工具开硐挖矿，俗称“开闹塘”，《云南省志·盐业志》载名“打挂尖”。早期人工开硐挖矿适用于斜井。硐门规格：高约2米，宽约1.7米。使用工具简单，主要有钢尖子，铁锤及槁条。矿工

① 《蛮书》又名《云南志》，成书于唐咸通年间（860—874年）。

② 云南岩盐开采方法，按顺次，主要有三种：第一，人工采掘法；第二，房柱法开采岩盐（此法与采煤“房柱法”相同，故名，与人工采掘法同归旱采）；第三，岩盐水溶开采（包括硐室水溶和钻井水溶）。前者采矿方法原始古老，史载简略，则属本卷所要撰写的内容。后二者内涵丰富，开采方法先进，但却是近、当代的开采法，因此，非属本书写的内容。



（俗称“砂丁”）由地面入井下采矿工作面，采矿作业是：左手握住槁条，套住钢尖，楔入矿层里，同时右手执铁锤敲击钢头，使盐矿成块或成片崩裂脱落，以达到采矿目的，名曰：人工采掘法，属于旱采的一种。每工班（约七小时）可采矿石0.6~1吨。另由运矿工（背夫），背矿出硐，经计量后，灶上溶制卤煎盐。

人工采矿法，工作环境十分恶劣，井下巷道狭窄，采矿工作面矮小，矿工下井挖矿，“伏背进硐，勾腰凿矿，背矿出硐”，劳动负荷重、工效低。工作生活牛马不如，甚至“把命送”。云南的民歌谣反映了砂丁工作悲惨的情景及仇与恨：

块块矿石含血泪，
担担盐巴有怨声。
砂丁苦啊砂丁恨，
砂丁冤仇似海深[32]。

这里顺便提及“移卤就煤”宏伟工程。

云南盐史，源远流长。从公元前2世纪初至19世纪末，历时长达二千多年中，盐业生产技术，一直发展缓慢，生产方式仍较落后，手工采矿，拉汲采卤，铸铁圆锅和柴薪煎盐。这与云南地下丰富的盐卤资源很不相适应。

20世纪初，张冲出任云南盐使时，正是滇中盐区，煎盐燃料（柴薪）短缺，致使盐产锐减，因而盐价飞涨，出现了产不敷销的严重情况。为缓解盐荒，开辟制盐燃料来源，张冲深入实际调查，依靠人民群众及工程技术人员，提出“移卤就煤”方案。这个方案技术先进，经济合理，实施可行，为云南盐业新技术的运用和发展，开创了先例。

所谓“移卤就煤”宏伟工程，即从元永盐矿到一平浪附近的煤区，修筑了一条输卤线路，全长20.5千米。这条线路，科学地利用地形高差，自流输送卤水，成为滇盐史上重大的创造。从而把矿山开采→输卤→燃料→制盐，即盐业发展“四大”要素，有机地结合起来了，堪称“四全齐美”。当然，其核心是“卤水”与“燃煤”，抓住了盐业发展的“重心”。

写到这里，作者自然忆起在20余年前，赴云南一平浪盐矿开会时，参观“移卤就煤”宏伟工程的情景：登高一望，该“工程”婉如一条巨龙，盘绕在滇中大地上，头和尾紧紧把矿山及盐厂连结在一起，昼夜不息，输送卤水，为一平浪盐矿的诞生、发展作出了重大的贡献。

（三）云南岩盐矿床的特点[52]——兼与四川岩盐矿床的比较

岩盐开采方式的选择，是根据矿床地质条件及特点决定的，如，清代云南在凿井中发现岩盐，因盐矿埋藏浅，氯化钠品位一般含量较低，于是，当时云南采用挖硐采矿（即岩盐旱采）。而清代四川富荣（今自贡）盐场，在加深老井中发现岩盐，由于盐矿埋藏深，氯化钠成分含量高，为此，富荣盐场采取钻井水溶开采（即岩盐水采）。关于云南岩盐矿床的特点，兼与四川岩盐矿床的比较，主要有：

其一，成因。云南盐矿床主要为陆相沉积，其次是海源陆相沉积。四川盐矿床主要是海相沉积（如四川威西盐矿、长宁盐矿等）。

其二，地质时代。云南盐矿主要赋存于震旦纪上统，上侏罗系和白垩系至第三系古新统。四川盐矿主要赋存于三叠纪及震旦纪。





其三，埋深。云南盐矿埋藏较浅，构造轴部地带为 50 米左右，一般为 40 ~ 300 米。四川盐矿埋藏较深，一般为 1 000 米左右，深者为 3 000 米左右。

其四，分布面积、产出形态。云南盐矿一般分布广、面积大、盐层厚、呈层状。四川盐矿分布范围广、含盐系地层厚、呈层状。但自贡（指自流井构造）的岩盐体，分布面积小，盐层薄，呈凸镜体。

其五，NaCl 品位。云南盐矿 NaCl 品位一般含量较低，侏罗系 NaCl 为 41% ~ 70%，最高达 96.5%。白垩系至第三系，滇中 NaCl 平均为 25% ~30%；滇西 NaCl 平均为 40%；滇南 NaCl 平均为 40% ~70%。盐体中青白盐 NaCl 品位较低，在 85% 以上。四川盐矿一般 NaCl 品位含量较高，为 80% ~95% 左右。

其六，矿物组分。侏罗系矿物组分，以石盐为主，尚有钙芒硝、石膏、硬石膏等，其他溴、硼等元素几乎近于零。

白垩系至第三系，矿物组分，仍以石盐为主，但各地有变化（见上其五，NaCl 品位）。其他化学成分变化特征；如滇中地区 $Na_2SO_4$ 含量高（平均为 7% ~ 15%），但普遍缺乏硼、碘等海相元素；滇西地区缺少 $Na_2SO_4$；滇南地区普遍含钾、铷、铯、硼、碘等元素。另缺 $Na_2SO_4$、$MgSO_4$。

综上所述，云南盐矿业，历史久远，从西汉至清代，历时二千多年，在漫长的岁月里，矿山开发，按年代的先后及开采工艺，大致可分为三大阶段，即泉卤采集阶段（汉晋时期）；凿井采卤阶段（唐至清乾隆后期）；岩盐发现和开采阶段（清乾隆五十八年至清末）。从而反映了云南古代矿山开发的简单历程和主要成就。



# 参考文献


[1]《 中国盐矿资料集 》第一集“中国盐矿资源概况”。

[2] 任乃强：《 说盐 》，刊《 盐业史研究 》，1988 年第 1 期。

[3]（唐）杜佑：《 通典 》卷十。

[4]（美）D · W · 考夫曼著，黄健译：《 盐的来源和早期的生产方式 》，刊《盐业史研究》，1991 年第 4 期。

[5] 颜献琪等：《 颜桂馨堂与自流井 》，刊《 盐业史研究 》，1990 年第 3 期。

[6] 赖明钦等口述，张开铭等撰文：《 岩盐发展概况 》，刊《 自贡文史资料选辑 》，第六辑。

[7] 井矿盐科技情报站：《 井矿盐技术 》，总第 14 期，1975 年 ；又，姚波编译：《 美国制盐发展史 》，刊《 盐业史研究 》，总第 22 期，1993 年。

[8]（前苏联）П · М · 杜德科著，王海潜译：《 盐类矿地下水溶开采 》（第 13、第 14 页），1980 年。

[9]（美）弗吉尔 · 哈特著，梁鹰译：《 自流井考察记 》（1888 年），刊《 盐业史研究 》，1991 年第 4 期。

[10]（清）杜廉：《 自画题诗 》，1885 年（诗画现珍藏自贡盐业历史博物馆）。

[11] 刘慎知：《 富荣场诗 》，刊《 自贡文史资料选辑 》第十四辑。

[12] 费少康：《 忆邓拓一九五八年初自贡之行 》，刊《 自贡报业历史研究资料 》第三辑，1989 年。

[13]（清）丁宝桢主编：《 四川盐法志 》卷二“盐井图说”。

[14]（清）《 蓬溪县志 》卷三。

[15]（清）吴鼎立：《 自流井风物名实说 》。

[16] 自贡盐业历史博物馆珍藏：《 宋杰存口述材料 》；又见自贡盐场，清代燊（兴）海井遗址——现存天车（实物）及清代东源井遗址——现存天车（实物）。

[17] 林振翰：《 川盐纪要 》，“自贡盐务琐闻”，商务印书馆，民国八年再版本。

[18] 林元雄、宋良曦、钟长永等：《 中国井盐科技史 》，四川科学技术出版社，1987 年。

[19] 马宗瑶、聂成勋：《 对自贡大坟堡岩盐矿体开采率实现高指标有关问题的认识 》，载全国井矿盐科技情报站编：《 井盐矿技术 》，1983 年第 5 期 ；又，马宗瑶、聂成勋：《 自流井大坟堡岩盐体开发状态及开采历史解析 》，刊《 井盐史通讯 》，1983 年第 1 期。

[20] 井矿盐科技情报站译编：《 国外井矿盐技术经济资料 》，1974 年。

[21] 黄良钊：《增大老区大溶腔产卤量的探索》，刊《中国井矿盐①》，1991年第1期。
[22]《四川文史资料选辑》第四辑。
[23] 相笃行等：《自贡盐场蒸汽机车汲卤概述》，刊《自贡文史资料选辑》，第三辑。
[24] 钟长永：《富荣盐场的机车汲卤》，刊《井盐史通讯》，1981年总第8期。
[25] 自贡市档案馆藏："卷1680号"。
[26] 肖冰如：《济海井利用机车推水经过》，刊《自贡文史资料选辑》第二辑。
[27]（民国）曾仰丰：《中国盐政史》第二章"盐产"。
[28] 自贡盐务局编：《自贡盐业志》（第6、第7页），四川人民出版社，1995年。
[29] 林朝汉：《浅谈中国盐矿资源及其特点》，载《盐业史研究》，1990年第3期。
[30] 王柔德等：《罗筱元四十年的盐业经营及其晚年事略》，刊《自贡文史资料选辑》第十五辑。
[31] 原自贡市化工局地质队：《大坟堡矿区盐卤生产研究报告》，1961年。
[32] 黄培林：《有关滇盐的诗歌及民谣随录》，刊《盐业史研究》，1991年第3期。
[33] 村夫：《大昌古镇》，载《大宁河游》（专集），1984年。
[34] 徐中舒：《巴蜀文化续编》，载《四川大学学报》，1960年第1期。
[35] 朱世镛等编：《云阳县志》，卷一三（收录）；又，曾枣庄：《杜甫在四川》（第141页），四川人民出版社，1980年。
[36] 十院校编，朱绍侯主编：《中国古代史》（中册），福建人民出版社，1982年。
[37] 吴炜等编：《四川盐政史》卷二。
[38] 廖迪生：《巫溪县大宁厂盐业史话》，载《巫溪文史资料》，1983年第2期。
[39] 丁宝桢：《四川盐法志》卷二。
[40] 罗筱元初稿，王柔德整理：《自贡盐场的枧商》，载《自贡文史资料选辑》，第十三辑。
[41] 胡砺善：《祖国石油与天然气史话》，石油工业出版社，1957年。
[42] 中国工程师学会四川考察团编：《中国工程师学会四川考察团报告》，1935年。
[43] 樵甫：《自流井》第一辑。
[44] 谭旦冏：《中华民间工艺图说》，台湾中华丛书委员会出版，1956年。

① 《中国井矿盐》，原名《井矿盐技术》。



[45] 丁宝桢主编:《 四川盐法志 》卷三“井厂三，器具图说”。
[46]《 明史 》食货志“盐法”; 又，王菘:《道光云南志钞》卷二。
[47] 黄培林、钟长永主编:《 滇盐史论・前言 》，四川人民出版社，1997 年。
[48] 王云五主编:《 丛书集成初编 》(3023 – 13)，商务印书馆。
[49] 周钟岳等:《 新纂云南通志 》卷一四七“盐务考”，民国二十八年印本。
[50]《 云南省志・盐业志 》，云南人民出版社，1993 年。
[51] 倪辂著，杨慎增补:《 南诏野史 》卷下“盐井”。
[52] 毕光宏撰:《 云南省盐矿地质特征及盐矿地质调查勘探史略 》(“中国盐业史国际学术讨论会”论文)，1990 年 10 月。
[53] 陆文祖:《 盐井歌 》，载《 光绪井研志 》卷三。
[54] (清) 王迁取作:《 盐源杂咏竹枝词 》，由《 盐源县志 》卷一二收录。
[55] 见上（本节）[51]、[50]、[49] 参考文献。
[56]《 新纂云南通志 》卷一三“历代官职二”，民国三十八年版本。
[57] 董咸庆撰:《 云南食盐产地及其变迁 》，刊《 盐业史研究 》，1986 年第一辑。







# 第八章
## 我国古代石油和天然气开采及利用的辉煌成就
### ——世界石油工业最早的开拓者

我国幅员辽阔，地大物博，地下石油和天然气资源蕴藏极为丰富，开采历史悠久。据可靠的文字记载和出土文物来看，至少也有两千多年的历史。

中国是世界上最早发现石油和天然气的仅有的几个国家之一。但是，在古代，我们聪颖勤劳的先民，在对石油的认识、开发及利用方面，尤其在钻井和采输工艺技术方面，都创造了光辉灿烂的成就，走在世界各国的前列，成为世界石油工业史上开拓的先驱。

## 第一节　我国古代石油工业的辉煌成就（汉至清）

据史载，我国最迟是在两千多年以前已在陕北一带发现和采集石油了。又在九百多年前科学地命名为“石油”。我国古代人民很早就认识了石油的性能和奇特的功用，并将它广泛地应用在人们生活和工业生产上。明代，我国四川凿井工匠，应用钻井技术，成功地钻出了第一口石油井，成为世界最早油井开创者，比西方世界钻成的第一口油井，要早三个多世纪。为此，我国古代在认识、发现、开采、研制及利用石油方面，都取得了辉煌的成就。

### 一、石油的最早发现和科学的命名

（一）石油的最早发现

我国发现和利用石油历史久远，至迟在西汉时，陕北高奴县的劳动人民就开始了。据东汉著名历史学家班固（32—92）著《汉书·地理志》记载：“高奴有洧（读委）水可燃。”高奴，秦时设县名，即今陕北延安及延川一带，洧水，系今延河的一条支流。北魏卓越的地理学家郦道元（约466—527）① 在地理巨著《水经注》卷三中记述颇详：“高奴县有洧水，肥可燃。水上有肥，可接取之。”同书《水经注》转引《博物志》记载更详：“酒泉延寿县南山石出泉水，大如筥，注地为沟。水有肥，如肉汁。……彼方人谓之石漆。水肥亦所在有之，非止高奴县洧

---

① 郦道元出生年月缺记，据后人推算，可能生于北魏天安元年（466年），或延兴二年（472年），于北魏孝昌三年（527年）被害。为此，生卒约466—527年。（见张润生等《中国古代科技名人传》）



水也。”《后汉书·郡国志》①“郡国五”中引《博物志》有同样的实录：酒泉郡延寿（县）“县南有山，石出泉水，大如筥篆（音举举，一种竹篓），注地为沟。其水有肥，如煮肉汁，羕羕永永（长流如水），如不凝膏，然（燃）之极明，不可食，县人谓之石漆。”由上可知：其一，《汉书》中关于“高奴有洧水可燃”的史载，可能错漏了一个“肥”字，应依《水经注》、《博物志》的记载：应加上一个“肥”字，即“县有洧水，肥可燃”，予以补正；其二，所谓：“肥”“水肥”、“石漆”如肉汁，羕羕永永，即水面上漂浮的石油；其三，《汉书》是一部较全面、系统地记载西汉政权（公元前206—公元25）兴衰的历史。由此可以认定，高奴县的石油，在作者成书之前就已经有了。因而，记载比起石油的发现要晚得多。足见，我国最迟是在两千多年以前，已经发现和利用陕北一带的石油了；其四，关于《水经注》中“水肥亦所在有之，非止高奴县洧水也”的记载，说明当时石油在其他地方亦有发现，非“高奴县洧水”一地才有石油。

我国新疆地区石油最早的发现，首次见于北齐魏收（506—572）撰《魏书》列传第九十：“龟兹国（在今新疆库车县地区），在尉犁西北白山之南一百七十里，都延城，汉时旧国也。……其国西北大山中，有如膏者流出成川，行数里入地，如锑餬（浆糊），甚臭。服之发齿已落者，能令更生，病人服之皆愈，自后每使朝贡。”这里提到的西北大山中“如膏者流出成川”，即指石油，大量流出地面已形成了油川。可见，我国新疆地区库车一带，在北魏时期发现了大量的石油，当时受到了官府的重视，作为贡品按时献上朝廷。

到唐代，关于我国甘肃玉门一带石油产出的地理方位，唐相李吉甫（758—814）在《元和郡县志》卷四十“肃州玉门县”条下，记载得更加具体：“石脂水在县（今玉门镇）东南一百八十里，泉有苔如肥肉，燃之极明。”唐段成式著：《酉阳杂俎》卷十云：“石漆，高奴县石脂水，水腻浮水上，如漆……燃灯，极明。”上条文中说的“石脂水”“石漆”燃之极明，即是石油燃烧发出的强光。

由上可证：在我国延安、甘肃玉门、新疆库车等地，都是我们的先民最早发现和利用石油的地区。如前所述，在陕北延安、延长一带发现的石油，最迟也有两千多年的悠久历史了。但在古代因交通不发达，信息闭塞的情况下，文字记载，比人们发现石油的时间，实际上要晚得多。

(二)“石油”的科学命名

“石油”这个著称，则是我国北宋杰出的科学家沈括命名的。因其命名科学，含义深奥，表达确切，洋溢诗意，所以，“石油”这个科学的名词今天为世界通用。

沈括（1032—1096）字存中，浙江钱塘（今杭州）人。他勤奋好学，天赋甚高，嘉祐末登进士第，因而，博学多才，成就卓著。在天文、地学、数学、物理、

① 《后汉书》第一册“出版说明”：“今本《后汉书》八篇三十卷志，是司马彪的手笔。他所著《续汉书》共八十三卷。刘昭为了弥补范书《后汉书》无志的缺憾，就把马彪《续汉书》志的部分抽了出来，加以注解，分为三十卷，以合范史。”同文献又说：“刘昭把范晔的《后汉书》与司马彪的《续汉书》中的志合为一书”，成为今本《后汉书》。由此可知，现存《后汉书》，其中纪传（部分）的作者是南北朝宋人范晔；《续汉书》中志书（部分）的作者是西晋司马彪。（《后汉书》，中华书局出版，1965 年）




化学、水利、医药、文学、音乐、军事等方面都有精湛的研究和独到的见解。一生精研科学，撰著甚丰，各种著述多达数十种，其中以闻名中外的科学巨著《梦溪笔谈》为代表。这部著作被誉为“世界和中国科学上的里程碑”“中国整部古代科学史上的坐标”。

沈括自少年时代到踏上仕途后，到过我国许多地方，开阔了眼界，增长了不少的知识和见闻。于1080年左右，北宋朝廷派他知延州（今延安一带），兼任鄜延路经略安抚使，即陕北一带的军政长官。沈括在出任延州时，曾亲临考察和研究了“鄜延境内”（即延长一带）的石油矿藏，收集了许多地质和矿产资料，对石油的产状、性能及用途，提出了不少独到的见解。因此，他的科学考察记录，内涵丰富，生动具体，很有预见性。并在《梦溪笔谈》卷二四述道：“鄜延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。生于水际砂石，与泉水相杂，惘惘而出。土人以雉尾挹之，乃采入缶中，颇似淳漆，燃之如麻，但烟甚浓，所沾帷幕皆黑。予疑其烟可用，试扫其煤以为墨。……此物后必大行于世，自予始为之。盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭。今齐鲁间松林尽矣，渐至太行、京西、江南，松山大半皆童矣，造煤人盖未知石烟之利也。石炭烟亦大墨人衣。予戏为延州诗云：‘二郎山下雪纷纷，旋卓穹庐学塞人；化尽素衣冬未老，石烟多似洛阳尘。’”

既因“石油”“生于水际砂石”之中，这与其他的油脂不同，所以，沈括将它科学地命名为“石油”①。并根据高奴县出产石油，由此而得到启迪，认为地下石油资源非常丰富，“盖石油之多，生于地中无穷”。提出了“此物（石油）后必大行于世”的科学论断，预料到未来石油工业发展的光明前景。这一远见卓识，已为今天世界石油工业的大繁荣所证实。

认识来源于实践。人们对石油的认识，也是经历了由现象到本质，由浅入深不断深化的一个过程。汉时，人们把石油叫做“肥”，如肉汁，可燃。三国到两晋时期，称石油名为“石漆”“石流黄”，作为向朝廷献上的贡品。南北朝时期，仍称石油为“肥”“水肥”。隋唐时期，称石油为“石脂水”“石漆”。北宋时期，沈括科学的命名为“石油”。这个名称，自宋迄今沿用，并为今天世界通用，普及全球。其后，明清时期，也有史籍称石油为“井油”“雄黄油”“硫黄油”等名。关于我国历代石油名称及其演进（见表8－1）。

① 陈正祥著《中国的石油》一书中说：“石油”及其“疗疾病”，在李昉编的《太平广记》中也有记载。待考。



**表 8－1　史载石油的名称及其演变**

| 朝代 | 主要石油名称 | 记载史籍 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 汉 | 肥 | 班固《汉书·地理志》 | 肥（可燃） |
| 晋 | 石漆 | 张华《博物记》① | 《后汉书·郡国志》卷二三引《博物记》云："燃之极明……谓之石漆" |
| 南北朝 | 肥、水肥<br>膏油<br>膏油 | 郦道元《水经注》卷三<br>李延寿《北史》卷九七<br>齐魏收《魏书》列传九十 | 用于"膏车及水碓缸甚佳"<br>膏油"自后每使朝贡"，即石油作为向朝廷贡品 |
| 隋　唐 | 石脂水<br>黑脂<br>石漆 | 李吉甫《元和郡县志》卷四〇<br>欧阳修等《新唐书·地理志》 | 作润滑剂、防腐涂料 |
| 宋 | 石油<br>猛火油<br>石脑油<br>膏油 | 沈括《梦溪笔谈》卷二四<br>曾公亮《武经总要》前集卷<br>寇宗奭《本草衍义》卷六<br>马令《南唐书》卷十七 | 指原油，燃烧后的炭黑制墨<br>为原油加工后的产品。战时，猛火油作火攻武器<br>"奭"读音适（shì） |
| 元 | 石油 | 《元一统志》卷四 | 石油能治疗驼、马、羊、牛等动物的疥癣 |
| 明 | 石脑海<br>雄黄油<br>硫黄油<br>石油<br>泉油<br>井油 | 方以智《物理小识》卷二<br>曹学佺《蜀中广记》卷六六<br>李时珍《本草纲目》卷九<br>杨慎《外集》卷四<br>方以智《物理小识》卷七 | 石油作点灯，"作油漆用"<br>"可以照夜，其光加倍"，即夜行照亮<br>石油可作制药的成分，与其他药物配制新药物点灯，称"灯烛" |
| 清 | 油（石油）<br>井油（石油）<br>井油 | 李榕《自流井记》<br>吴鼎立《自流井风物名实说》<br>严如煜《三省边防备览》卷十 | 石油（简称油）凡四色：米汤油，色白；黑漆油，色黑；栀子油，色黄；绿豆油，色青<br>用牛马粪为饼，晒干浸油，浮水面，火不灭，可烧石滩，攻战船。<br>石油燃能，用来制盐 |

早期，西方人称石油为拉迪那凯（Rhadinace）或名纳夫特（Nefft），即均为流动之意。俄语中石油名为"纳夫子"（несть）亦源于此。其后，约 14 世纪，西方

① 张华原著《博物记》难查，据说已散佚了。此处以《后汉书·郡国志》卷二三引《博物记》史载，仍是可信。





才有人将希腊字中的石头（Pettra）和罗马字中的油两者组合起来，即名“石油”（Pertoleum）[1]。1556年，德国矿物学家阿格里克拉（Agrioia），在编文中第一次使用了“石油”这一名称。1775年，伊凡斯（L-Ewisevans）在《美洲的英国殖民地地图》中，又正式用了“石油”之谓称，从此，沿用至今。而中国卓越科学家沈括正式命名“石油”，在11世纪，比西方早400多年。

**二、我国最早钻采的第一口石油井**

**——从露天采油到钻井采油**

我国古代石油开采历史久远，上迄两汉，下至明清，历时两千多年。在这个漫长的时期，随着社会的进步，生产力的提高，石油的发现、开采、炼制及利用都有了新的发展，与此同时，石油的开采技术也有了显著的提高。我国汉唐时期，人们是露天采油；宋元时期，挖井采油；明清时期，钻井采油。

（一）露天采油

所谓露天采油亦称地面采油。即石油产出，非人工开凿，为其自然流出地表（地面露头的油苗），或石油随泉水流到地面，或漂浮在水面上。如若被人发现，便就地直接采集和利用。如前所述，陕北延安、甘肃玉门、新疆库车等地，都是地面露天采油。这种采油，其优点：可节省打井工程费用，采油方便且价廉，同时，地面油苗标志，为人们找油提供了线索。其缺点：采集方式原始，一般产量有限，很少形成规模性开采。

（二）挖井采油

挖井采油。远肇两汉时期，人们对石油仅是初步认识，采集的也是露头油苗，而且产量很少。到了北宋时期（即自汉至宋），我国人民对石油的采集和利用，已经历了一千多年，先民们在生产实践中积累了较丰富经验，并对石油有了进一步的认识。宋时，由于生产力的提高，社会对石油的需求量增大，同时，石油及其制品得到了广泛的应用。地表露头采油，远远不能适应和满足社会的需要。于是，人们不等闲大自然的恩赐——石油自流出地面，而是主动地采用挖井，向地下浅部地层中索取石油，人称“挖井采油”。

据《元一统志》记载：“陕北延长县南迎河有凿开石油一井，其油可燃，兼治六畜疥癣，岁纳壹百壹拾斤。又延川县西北八十里永平村有一井，岁办四百斤，入路之延丰库。”[2]同书又说：“石油，在宜君县西二十里姚曲村石井中，汲水澄而取之，气臭而味可疗驼、马、羊、牛疥癣。”[2]由此可知，在陕北的延长、延川、宜君等县，已经挖井采油了。这些油可作燃料、照明、医药等多种用途，同时，每年还要向政府上交“纳税”任务。

由元孛兰肹等编著的《元一统志》，成书约于1286年至1303年间，因此，开始编写时，为元朝建立全国政权初，由此认定，最迟元朝初，人工挖井采油就开始了①。

① 关于人工挖井采油的年代，我们把它确定在元朝初期更为可靠。但有学者认为陕北延长等地的油井，应在成书之前就有了，即在宋代已掘井成功。申力生主编的《中国石油工业发展史》（第一卷）中述道：“《元一统志》那个时候对陕北一带的油井记载得如此详细、具体，可以说明这些油井是在此书编写之前，也就是在宋朝时期已经存在。”



汉晋时期，四川在挖掘盐井、火井（即天然气井）过程中，有可能遇到石油。据史载和生产实践证明，四川地区的地下卤水、天然气及石油资源三者常为共生关系。一井掘成，或卤、或气、或油、或其中二者均见，是常有的事。正因如此，于是有的学者认为，四川早期的临邛火井，就是“石油井”[3]。作为学术研讨，完全是可以的，并且是一种开创性认识。但，关于四川早期油井的存在，目前尚缺乏史实记载及有关旁证材料。今查证的文字记载：“临邛有井油”[4]“蜀有火井，其泉如油，热之则燃”[5]等，则是明代的事了。

（三）我国古代第一口石油井的钻采——钻井采油

由于我国钻井技术的发明，钻井采油工艺在地面采油和挖井采油的基础上，得以应运而生。前已述及，所谓的地面露天采油，即是用原始的方法，采集自然界自流出来的石油。挖井采油，即采用人工挖掘大口井，采取地下浅部岩层中的石油。而钻井采油，则是应用钻探技术，不断地向地下深部开拓，从小口井中，采汲深部地层中的石油。由此区别地表露天采油和人工挖井采油。

在世界一些地区，包括我国在内，对于地表露天采油，或人工挖井采油，历史比较久远。但钻井采油技术，国外却起步很晚，我国早在明代就实现了钻采石油工艺，走在世界各国的前列，成为世界最早的开创者。这种钻采新技术及其原理，一直沿用至今。

据明曹学佺《蜀中广记》卷六六“火井与油井”条引“通志”记载：“国朝正德末年（1521 年），嘉州（今四川乐山地区）开盐井偶得油水，可以照夜，其光加倍；沃之以水，则焰弥甚，扑之以灰则灭，作雄硫气，土人呼为雄黄油，亦曰硫黄油。近复开出数井，官司主之。此是石油，但出于井尔。”①

明杨慎（1488—1559）撰《丹铅总录》卷二云：“火井在蜀之临邛，今嘉定、犍为有之。其泉皆油，爇（音若，即点燃）之然（燃），人取为灯烛，正德方出。”②

杜应芳等《补续全蜀艺文志》卷四六（又《古今图书集成》第十二册第六二六卷）载道：“油井在嘉定、眉州、青神、井研、洪雅、犍为诸县。居人皆用以燃灯，官长夜行则以竹筒贮而燃之，一筒可行数里，价减常油之半，光明无异。”

上述史实明确记载，我国最早钻采的第一口油井，是在明代四川地区诞生，并至此之后，油井在四川诸州县兴起，引起了当时官府的重视。据此，可归纳如下：

第一，我国古代第一口油井钻采的年代及地址。我国第一口油井是在钻凿盐井过程中偶然发现石油，即“偶得油水”，因而将盐井改名为“油井”。它的钻成年代。乃是明朝正德末年（即 1521 年）。开凿地址，在四川嘉州（今乐山地区）。

第二，四川油井钻探的发展。第一口油井钻采之后，又陆续钻采了数口井。至此，油井在四川嘉定、眉州、青神、井研、洪雅、犍为等州县兴起。同时，石油及其制品在社会生活中，得到了广泛的应用。

---

① 本条史料，另见《本草纲目》卷九“金石部石脑油”条。

② 杨慎：《杨升庵外集》卷四。

第三，官办油井。四川石油的发现和利用，显示了它的工业价值及社会价值，因而，受到了官府的重视。宝贵的石油资源，归国所有，油井的钻采工程，由官府主持开办经营，即“官司主之。”

第四，油井开采方法。小口深井石油的开采，与盐井采卤工艺相同：“水井之内更有油井，色与水同，汲水入筒，油浮水面若腻脂，舀起盛盎衣间，煎盐用之。”[6]井内“石油有浅深之别，浅者五六十丈；深者百余丈，或二百六七十丈不等。多者推出皆属净油，少者油水相搀，油浮水面，取时以竹器撇之。再少者，以谷草揉之”[7]。这里说的“汲水入筒，油浮水面”，实际上是“水、油兼采”。如井内油多者，采汲出的“皆属净油”（纯油）。

总之，我国人民发现和开采石油，历史悠久。早在汉唐时期，已在地面露头采油了。宋元时期，挖井采油。到了明代，由于井盐钻井技术的发明和发展，四川地区应用了钻井采油。油井深度起码也与盐井同，约 300 ~ 400 米。

我国于明朝正德末年（1521 年），在四川嘉州（今乐山地区）钻采了第一口石油井，这口井的开凿成功，在世界上处于领先地位。它比俄国技师西蒙诺夫在 1848 年钻成的第一口油井[8]要早 327 年。又比美国狄拉克于 1859 年钻成的第一口石油井[9]也早 338 年。首创石油工业的功勋，应归于我们伟大的、智慧的先民——无名的匠师们。

当 16 世纪初，四川第一口油井凿成之后，油井钻探有了迅速的发展，遍及数州、县，且属于官府开办，这说明当时四川石油工业的兴旺和发达，也显示了我国古代石油工业的兴起。

**三、我国古代石油奇特的功用**

石油和天然气是现代社会重要的能源和工业原料的来源。我国古代人民很早就认识了油、气的性能，并将它们应用到生活和生产上。我国是世界上发现和利用石油最早的几个国家之一。在我国古代，石油及其制品，主要用于民用照明、工业上作燃能等、医药上杀虫治病、战争上制“火球”作为火攻的武器等多种奇特功用。

（一）石油用于照明

在我国古代，石油的多种功用，最先还是从用来照明开始的。最迟约在两千多年以前，我国陕北地区的人民，就知道了漂浮在水面上的石油具有可燃性，又能发出强亮的光。于是就把它采集起来，用作点灯照明。《后汉书志》第二十三卷引《博物记》载云：“甘肃延寿县南部的山泉中，其水有肥（石油）……然（燃）之极明”。郦道元《水经注》卷三转引《博物记》述道：“水有肥，如肉汁……然（燃）极明，与膏无异。”唐李吉甫在《元和郡县志》卷四十里，又记述了甘肃玉门县的石脂水（石油），“燃之极明”。唐段成式《酉阳杂俎》（卷一〇）云：“高奴县石脂，水腻，浮水上如漆……燃灯极明。”宋初，陕北延安地区智慧的人民，用石蜡制成蜡烛，因而取名为“石烛”。南宋著名爱国诗人陆游著《老学庵笔记》卷五写道：“喜明如蜡，何嫌色似黳。烛出延安，予在南郑数见之，其坚如石，照席极明，亦有泪如蜡，而烟浓能薰污帷幕衣服。”宋元时期，陕北延长等县地区的人民，已经由过去露头采油发展到凿井采油了。“其油可燃”，用作点灯。兼治六



畜病。

到了明代，四川地区随着钻井采油技术的出现和推广，石油产量的提高，价格也便宜，因之，川西南地区人民用本地产出的石油照明皆普遍："油井在嘉定、眉州、青神、井研、洪雅、犍为诸县。居人皆用以燃灯，官长夜行，则以竹筒贮而燃之，一筒可行数里，价减常油之半，光明无异。"[10]于清（代）时，川南自贡地区在钻盐井、气井过程中，同时也遇见了大量的石油，（清）李榕《自流井记》云：海顺井"水、火、油三者并出。"磨子井钻到了大火，兼"水、油二种"。同文又云：井油凡四色："米汤油、色白；绿豆油、色青；栀子油，色黄；黑漆油，色黑。青、黄、黑三者，气薰人如硫黄。白者气较轻，光较明。"由上可知，我国古代人民，用石油照明，自汉至清（代）历时两千多年。

（二）古代石油的工业用途

我国古代，石油在工业方面有多种用途，即石油用来作燃能煎盐、制墨、润滑等。

1. 石油用作润滑剂和防腐涂料

古代劳动人民，在长期的采油、炼油生产实践中，已经认识到，按石油浓度（比重）和形态的差异，可分为清稀、黏稠、坚结三种，并得出种种不同的用途：清者点灯。《新增格古要论》卷七云："石脑油（石油）出陕西延安府。……此油出石岩下水中，作气息。以草拖引，煎过，土人多用以点灯。"[11]浊者即黏稠性的石油，用作车轮轮轴的润滑剂和器具的防腐涂料。郦道元在《水经注》卷三中说：石油"膏车及水碓缸甚佳"。唐李吉甫著《元和郡县志》卷四十里亦说，古玉门县的石油，人们"以草盉取用，涂鸱夷酒囊及膏车"。明人方以智撰《物理小识》（卷二）还述道：石油如脂膏，"人取燃灯，或作油漆用"。坚结的石油即沥青，用于修补酒醋缸的裂缝渗漏，效果超过油灰。

2. 石油提取炭黑制墨

我国北宋著名科学家沈括，利用石油燃烧所产生的"石烟"，试制成功墨锭。他在《梦溪笔谈》卷二四中述道："燃之如麻，但烟甚浓，所沾帷幕皆黑。予疑其烟可用，试扫其煤以为墨①，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之。其识文为'延州为石液'（即石油）者也。"沈括利用石烟（即炭黑）制作墨锭，获得成功，开辟了石油利用的新用途，为我国早期的炭黑工业奠定了基础，也是世界上以石油制造炭黑的开端。他在写的《延州诗》中，形象地描绘了陕北一带"石烟多似洛阳尘"② 的情景。

3. 石油作燃能煎盐

在我国古代，人们利用天然气煮盐，早在汉晋时期就开始了，临邛火井"执盆盖井上煮盐，得盐"。而石油作燃能煎盐，至迟是在明代。据谢寿昌等编《中国古今地名大辞典》（第166页）记载："火井，在四川犍为县东北八十里筒溪，泉

① 煤，此系石油燃烧所产生的炭黑，以此制成墨。

② 《延州诗》："二郎山下雪纷纷，旋卓穹庐学塞人；化尽素衣冬未老，石烟多似洛阳尘。"（《梦溪笔谈》卷二四）





皆油，燃之甚炽，取以为灯，风雨不灭。明正德时，掘以‘煮盐’，今涸。”清严如煜在《三省边防备览》卷十中亦说：四川盐井里产井油，水、油共采，油浮水面，取油“煎盐用之，燃灯微有硫黄色，令人不耐”。

石油和天然气新能源的应用，这是盐业的一个大的进步，并为清代大规模开发和利用油气开了先河。

（三）石油在医药上的用途

在古代，我国人民认识和发现石油的医药功用，已有1 300多年的历史了。据唐初史学家李延寿著的《北史》卷九七“西域”条记载，我国西北新疆车库地区，有大量的石油出露地面，人们不仅采集起来点灯，而且还研制了它的医疗用途，石油“状如饿餬，甚臭，服之发齿已落者，能令更生，疗人服之皆愈”。同时，石油还能杀虫“治六畜疥癣”。《元一统志》卷四云：陕北宜君一带井中的石油“汲水澄而取之，气虽臭而味可疗驼、马、羊 、牛疥癣”。

明代杰出的药物学家、医学家李时珍（1518—1593），他撰成的《本草纲目》，是我国古代最伟大的一部药学巨著，英国著名的生物学家达尔文，称赞这部书是“中国古代的百科全书”。书中记载了有关矿物性药物多达276种，石油药物是其中的一种。他对石油的性能和治病的疗效，进行了观察、研究和试制，并对石油进行了药理分析，提出了新的药用见解，其卷九云：“石油气味与雄硫同，故杀虫治疮。其性走窜，诸器皆渗；唯瓷器、琉璃不漏。故钱乙治小儿惊热、膈实、呕吐、痰涎，银液丸中用。和水银、轻粉、龙脑、蝎尾、白附子诸药为丸，不但取其化痰，亦取其有透经络，走关窍也。”同书《本草纲目》卷九又说：“主治小儿惊风、化涎，可和诸药做丸散，涂疮癣虫癞，治铁箭入肉，药中用之。”

据上史记，石油的功用，主要有三：其一，治疗驼、马、牛、羊等六畜疥癣；其二，石油与诸药作丸，治疗小儿凉热、惊风、膈实、化痰、呕吐等疾，同时还医治铁箭入肉，“透经络”等；其三，石油与其他药物的混合，可配制成新的药物。

（四）石油在古代战争中制作进攻火器

在古代，我国人民在石油开采和利用实践中，就认识了石油特有的易燃、“燃之极明”“水不能灭”“性质暴烈”、火速迅猛等性能。因之，在古代战争中，石油是制作进攻火器的优质原料。《诸葛武侯秘史》上卷中，就记载了三国时期，已用石油沥青配制“引火毬”和“蒺藜火毬”等火器，以攻敌人城堡。沥青为制作“火毬”重要原料之一，它在“火毬”中起着“延发剂”的作用，以控制燃烧速度，延缓燃烧时间。

到了宋代，“火毬”制作技术有了进一步的提高，各种“火毬”，爆炸性增强，破坏威力更大，同时在战争中有了较广的应用。据北宋曾公亮（999—1078）在《武经总要》前集卷中记载的“烟毬”“毒药烟毬”等毒性火球，其配方中，均用了石油沥青。如“毒药烟毬”的配方主要成分有：“毬重五斤分，用石留（硫）黄一十五两、焰硝一斤十四两、草乌头五两、芭豆五两、狼毒五两、桐油二两半、小油两半、木炭末五两、沥青二两半、砒霜二两、黄蜡一两、竹茹一两一分、麻



茹一两二分，捣合为毬。贯之以麻绳一条，长一丈二尺，重半斤为弦。”绳外涂毒药①即成。

北宋时期，都城汴京（今河南开封）设有军器监，这个军器监设置相当完备，而且规模甚大，“其役兵有万，全军匠三千七百人。东西作坊工匠五千人。”[12]监之下，又分设十一个作坊（相当于今天的车间），即“其作凡十一目，所谓火药、青窑、猛火油、金火、大小木、大小炉、皮作、麻作、窟子作是也”[13]。由此可见，“猛火油作”是当时宋都（开封）的中央军器监十一个作坊之一，即独立的一个炼油车间。用原油炼制石油产品——“猛火油”。

由在三国时期，以石油配制“火球”，攻击敌人，是克敌制胜的重要战术，之后，于北周武帝宣政时，陕北甘肃酒泉的军民，又用油火，反击突厥族军队的大举进攻，获得了胜利，保卫了酒泉人的安全。这在《元和郡县志》卷四十中明确记述：玉门东南，“水上有黑脂（石油）……周武帝宣政中（579 年），突厥围酒泉，取此脂燃火，焚其攻具，得水愈明，酒泉赖以获济”。初时，都是用原油作配制材料，或直接以原油作为战争中的火攻武器。北宋时期，宋都开封建立炼油车间，将石油加工成产品——“猛火油”。在使用石油作进攻武器时又有了进一步发展。作时，可将猛火油用“筒柜”“猛火油柜”（即喷火油的机械装置）喷出，火油攻敌，威力很大。《武经总要》前集卷云：“于踏空板内放猛火油，中人皆糜烂，水不能灭火；若水战，则可烧浮桥、战舰。”宋人康与之著《昨梦录》又说：宋朝时，为了保卫西北边防，将大量“猛火油”运到边陲，作为守防武器，并懂得修池储存油了，“西北边城防城库，皆掘地作大池，纵横丈余，以蓄猛火油。”足见，“猛火油”在宋代军事上有了广泛的应用，而且其喷发机械技术，亦相当先进了。

## 第二节 我国古代著名的天然气井<br>——汉代临邛火井的开凿及其变迁

临邛火井是四川先民开凿成功的。它的建成，乃是继战国末“广都盐井”建功之后，人类改造自然，利用新能源——天然气的开端。同时临邛火井的开凿和利用，给临邛地区带来了巨变。北周时，因有火井设“火井镇”，隋炀帝大业十二年（616 年），改镇升置“火井县”。至元代，历时长达八个世纪。因之，临邛火井，闻名遐迩，备受历代文人墨客之题吟，稽古考究，自汉至明，史不绝书。根据史实记载，临邛火井是我国创建和最著名的天然气井，今对它的研究和总结，具有重要的意义。

### 一、临邛火井开凿的年代

#### （一）临邛火井建成年代的说法

临邛火井是我国早期开发的著名天然气井。就其开发的年代来说，则是众说纷纭，主要有三种说法，一为秦代开发说；二为西汉开发说；三为东汉开发说。

① 《武经总要》前集卷载，以故币 12.5 两、麻皮 10 两、沥青 2.5 两、黄蜡 2.5 两、黄丹 1.1 两、炭末半斤，诸种混合捣粉涂绳外。





但其中以两汉二说，又是专家、学者研讨的热点，也是本题介述的内容。

1. 关于西汉开发说

有专家、学者认定，临邛火井建成在西汉。如，刘德仁在《我国古代开发天然气年代考》一文中云："至迟在西汉末年（公元前1世纪末），四川就已经钻凿（系人工挖凿——笔者注）了被称为'火井'的天然气井，著名的'临邛火井'很可能就这时，或这时以前钻成。与此同时，'井火'即天然气也被用于社会生产（如煮盐）和生活方面。"[14]

临邛火井在西汉末开发，全文依据有三点：

第一，公元前1世纪末，西汉文学家扬雄所著《蜀都赋》载道："蜀都之地……铜梁、金台，火井、龙湫。"此把"火井"和蜀地的名胜"铜梁""金台"并列，足见，"火井"在当时蜀中的声誉已非一般。同时，《四川盐法志》（卷四沿革上·井厂四"附火井"）详述了汉代临邛火井。接着指明"原注蜀王本纪亦同"。经张国淦在《中国古方考志》中释，《蜀王本纪》亦系西汉扬雄著（这一观点：与徐中舒《蜀王本纪成书年代及其作者》一文有分歧，见本章文献［19］）。

第二，据有关历史文献记载，蜀都（包括临邛在内），几次大规模凿井工程都是在西汉末年以前开展的。即先后于公元前127年、前115年、前110年及前104年，在蜀郡的广都（今四川成都、双流）、临邛（今四川临邛县）、牛鞞（今四川简阳）、南安（今四川乐山等地）等县开凿盐井。汉宣帝节地三年（公元前67年），蜀郡穿凿盐井掀起高潮，仅在临邛、蒲江就凿成盐井20所，设置盐官经营。人所共知，古代四川"火井"因系开凿盐井而发现。由此认定，临邛火井就在西汉末大规模凿井中发现的，令人可信。

第三，南朝宋人刘敬叔著《异苑》卷四记载："临邛有火井，汉室之隆，则炎赫弥炽。"① 尽管该书把"火井"燃烧旺盛象征汉王朝强大附会在一起，确有不科学的地方，但开发火井时间下限却可以佐证。若按过去史学家的传统和习惯，所谓"汉室之隆"与"炎赫弥炽"，一般均指"文景之治"和汉武帝的"赫赫"功绩，即武帝兴盛时期。至于光武帝刘秀重建东汉王朝，也只称"中兴"而已。

彭久松在《试说临邛火井》一文中说："临邛火井是西汉中叶（至迟不晚于公元前1世纪中期），四川劳动人民在穿凿盐井的过程中创建的。"同时在该文中又说："临邛火井的具体创建年代不可考。以下因素可以帮助我们确定相对年代。"其一，在古代，生产斗争的发明创造或重大成就，从它的发生到引起文人注意并加以著录，需要一定的时间；其二，对于临邛火井，扬雄在《蜀都赋》和《蜀王本纪》中，不是把它当为新近发生的奇事，而是当作一件早已存在的人人皆知的历史来描绘的；其三，扬雄生活在临邛增设盐官之后。但在这以前，临邛地区的井盐生产和盐井开凿，已经历了一个较长的阶段。为此，可以推断，临邛火井的相对创建年代较早，最迟不晚于西汉宣帝地节到元康年间（公元前69—前62），即公元前1世纪中期临邛、蒲江大规模穿凿盐井的前后[15]。

《中国井盐科技史》一书中认为，史籍关于临邛火井的记载："不仅可以证明

---

① 见《古今图书集成》第十二册第六三三卷。



这是中国、也是世界上最早开凿天然气井之一，而且是中国井盐生产中天然气开采的肇始。”“尽管临邛火井出现的年代众说纷纭，但若定在西汉宣帝地节三年（公元前67年）之后一段时间，是较为妥当的。”[16]

鲁于健在《临邛火井考》一文中指出：“关于西汉临邛火井开发利用”，则“是人类历史上第一口天然气井。……在战国末期及至秦汉之际巴蜀地区井盐矿和手工冶制铁业发展的基础上开发出来的。”[17]

2. 关于东汉开发说

临邛火井开发时间定在东汉，这是一种可靠的保险的说法。胡砺善所著《祖国石油与天然气史说》一书中认为：“东汉时代（1 700多年以前），中国古代劳动人民在今四川邛崃县钻成了世界上第一口天然气井，并且合理地利用了天然气。”[18]为说明这个观点，他引用了西晋著名文学家左思《蜀都赋》（李善《文选注》卷四）中史诗为证，“火井沉于幽泉，高焰飞煽于天垂。”即火井从地下深处出现，燃烧的火焰高插云霄。同时又引证《后汉书·郡国志》记载为据，“临邛《博物记》曰：有火井，深二三丈，在县南百里，以竹木投取火。后人以烛投井中，火即灭绝不复燃。《蜀都赋》注曰：火井欲出其火，先以家火投之，须臾许，隆隆如雷声，灿燃通天，光耀十里。”

张学君撰专文《有关临邛火井问题的几点商榷》中认定，临邛火井出现最早的年代只能断在东汉。所持依据有两点：第一，他引用徐中舒关于《蜀王本记的成书年代及其作者》一文证明：《蜀王本记》和《蜀都赋》成书时间不在西汉，前者于东汉至蜀汉之间，它的作者谯周，托名扬雄；后者则晚至晋代，也系后人伪托。[19]因此，否认了西汉对临邛火井的记载；第二，张华《博物志》作于西晋武帝，比其他史料记载临邛火井要早，亦能证明这点。

由上看来：关于临邛火井成功开发的年代，主要一是东汉说，一是西汉说。虽然前者说法可靠，但是后者把临邛火井开发时间下限提前一个世纪，也是有依据的。即是不以西汉扬雄《蜀都赋》和《蜀王本记》为证，但是，西汉时，四川盐井开凿有了大发展，并在开地盐井中发现天然气（因四川地下浅层自然卤水、天然气及石油三者，常为共生关系），加上所谓“汉室之隆，则炎赫弥炽”的佐证，因此，临邛火井建成的年代，定在西汉（公元前67年左右），亦不是没有依据的。

（二）临邛火井与鸿门火井之争

临邛火井与鸿门火井开凿年代孰先孰后的问题，乃是盐史界学术争论的焦点。根据史实记载和考察证明，在井盐史上，临邛火井的开凿和存在，毋庸置疑。其创建年代，多数专家、学者认定在西汉。

关于鸿门火井的问题。班固《汉书·郊祀志》云：“汉宣帝神爵元年（公元前61年），于陕北祠天封苑火井于鸿”。同时，《汉书·地理志》和郦道元《水经注》（第一册卷三）都说，鸿门有火井（祠、庙）。火山，火从地中出。于是，有的学者就根据这一记载，认为鸿门“火山”是从地下冒出来的天然气。“火井”则是天然气井。并认定鸿门火井是人类创建最早的天然气井，即比临邛火井要早。甚至有的还认为“火山”是熔岩喷发的“火山口”。古人记载：仅是地下出火的现象，





其实质又是如何？

史料记载的“火山”“火井”的地理方位，则是今山西大同地区[20]。多年以来，特别是20世纪80年代中期后，大同地区为了国家建设的需要（建电站）和考虑，关心居民的安危，以弄清“火山”是否为“死火山”，或“休眠火山”，或“活火山”的问题。在有关部门的支持和配合下，做了大量的、深入的、细致的科研工作。“经考古学家、地质学家及其他方面科学工作深入地考察、证实……属于死火山类型”[20]，不是“休眠火山”，也不是“活火山”。从而解除了当地民众的恐慌。所谓“火山”是地下煤层自燃的情景，不是“火山”活动的地质现象。所谓“火井”则是大同矿区地下煤层自燃并沿着地表裂缝出现火焰的景象[20]。由此得知，史料记载的“火井”，不是天然气井，而是地下煤层自燃的火焰，从地表裂缝喷出的景观，更不是人类最早创建的天然气井。鸿门火井的否定，澄清了长期以来的误认，至此，两井之争可以休矣。于是，临邛火井则是无愧于我国和世界上最早开凿的天然气井。

综上所述，临邛火井的产生及其建成的年代，现归纳如下：

第一，临邛火井创建不是偶然的，而是与社会生产力发展紧密连接在一起的。秦灭巴蜀后，为开发巴蜀，首先是开发了川西地区，并逐渐形成了以成都为中心，且与郫县、临邛等连成的经济发展地带。水利的建设、农业的发展、城市的兴建，手工业的兴起，商业的繁荣均为全川之冠。秦至汉初，临邛社会经济有了长足的发展，为西汉初盐井（气井）的开凿，奠定了丰厚的物质基础，提供了大量的财源。其次，北方中原地区打井技术上的传入，尤其是战末西蜀“广都盐井”等一批井穿凿成功，直接为临邛盐井（气井）的创建所借鉴和应用，做好了凿井技术上的准备。再有，临邛冶铁业的兴起和发展，铁工具的使用，又为盐井（气井）的开凿，提供了手段。总之，川西地区（包括临邛）社会经济长足的发展，“广都盐井”的开凿成功、铁工具的使用，为临邛盐井（气井）的开凿创造了条件。

第二，临邛火井开凿年代。关于临邛火井开凿的时间，虽然学术界有纷争，但是根据多数专家学者倾向性的意见，定在西汉初。即汉宣帝地节三年（公元前约67年），曾一次大规模地“穿临邛、蒲江（当时蒲江属临邛辖区）盐井二十所”，与此同时，凿成了临邛火井。前已提及，四川地下浅层卤、气、油常为共生一起，为此，在生产实践中，除单是纯气井、卤井及油井外，大多表现为卤、气兼采。“盖蜀火井之伦，水火相得乃佳矣。”[21]。故此，当时临邛和蒲江穿凿盐井“二十所”中，不会没有盐井凿到天然气。同时，据刘敬叔《异苑》(卷四）及任豫《益州记》记载“汉室之隆，则炎赫弥炽”的佐证。为此，临邛火井开凿的年代，不大可能在秦代，东汉开凿最保险，如若定在西汉初（公元前67年前后），大开临邛盐井一段时间，则是较为合适的。

## 二、临邛火井遗址及其变迁

### ——关于临邛火井的史载

关于临邛火井的史载，上起汉初，下迄明季，史不绝书。这为临邛火井的开凿、延续、发展提供了史证。为此，临邛火井的历史真面貌，应包涵两层意义：即狭义而言，仅指西汉时于临邛地区最早开凿的第一眼火井；就广义而言，则是



自汉至明，“有盛有歇”[6]，盛衰相继，此起彼伏，且井址分布（临邛）甚广的火井群。北周因地有火井置火井镇，隋朝升镇设火井县。

四川井盐开发史上，人们在开凿地下卤、气、油资源过程中，若一井凿成，大多以获得其中的一种（主要）资源命名为井名，又以一口井名取代一批井（群）名，并由井名演变成地名，然后，以井名置州、设置、立市，则是一种普通的现象。如，自流井（因地下卤水自流出地面而得名），早是四川盐史上一眼著名的盐井，至明末天启年间，“自流古井，原数三百八十眼”（仍以第一口井命名），井名演变成地名，后来以自流井和贡井合称立市，产生了一座城市，即今四川自贡市。因此，从一口井发展到井群，然后演变成地名和城镇，均是以盐（或气）井名命名的。

临邛地区总计开掘了多少火井，史实无明确的记载。但临邛火井开发自汉至明历时 1 700 余年，可以断定，其火井数量是不少的。不然，火井怎能连续生产十七八个世纪？临邛火井实际上是一个井群的总称，在这个井群中，不仅有单纯的气井，也有气、水或油、气兼采的井；不仅有“高焰飞煽于天陲”压力较高的气井，也有直接于井口置锅煮盐的低压气井；不仅有井深“二三丈”的大口浅井，也有井深达“六十丈”更深的井；不仅有旧地“迄今不复燃”的废井，也有新地后开凿的新井[15]。总之，井群广布于临邛地区，地理方位，主要分布在临邛城西南面濮水与火井江流域及蒲江东南一带[17]。据史载，临邛火井群地理方位及其兴衰演变，可划分为三个时期，即汉至隋时期、唐宋时期及元明时期。

(一）汉至隋时期临邛火井地理方位

这一时期，临邛火井的地理方位，大致分布在“临邛县西南”“县南百里”，布濮水①与火井江②流域及蒲江河谷两岸等地③。由此看来，火井位置主要是沿着河道流域分布。这与四川其他地区，在河谷沿岸开凿盐井，发现盐泉相同。如，我国最早开掘的第一口“广都盐井”，其地理方位，则是在川西成都、双流一带，属于“都江堰”工程灌区，岷江流域。又如，汉代凿成典型的大口盐井——白兔井，其地址位于川东汤溪河北岸。再如，四川自贡著名的大公井，古井遗址发源于天池山脚下，荣溪河畔。与大公井齐名的自流古井，仍是位于荣溪下游——釜溪河西岸，火井坨地段。还有，川东大宁盐泉，乃坐落在巫溪宝源山下，大宁河河岸等，不胜枚举。为何四川早期开凿的许多盐井、气井及油井常在一些河流地

① 刘琳《〈华阳国志·蜀志〉校注》云：“‘布濮水’即今邛崃县西南火井槽之小河。发源于高何公社之西之镇西山，东北流经高场、油榨坨，至水口，转而东流，至马湖与白木河（古白木江）会，为大南河，东至新津合西河（文井江）。故古代也通称南河为布濮水，又叫仆千水。……布仆，大概是古代一种少数民族，司马相如‘略斯榆，举苞蒲’（《难蜀父老文》），苞蒲疑即布仆。盖居于火井以西、芦山河上游河谷一带，因称其地为布仆。”故得布濮水名。

② 刘琳《〈华阳国志·蜀志〉校注》（第245页）说：“‘文井江’各本均作‘火井江’，廖本作‘文井江’”。

③ 刘琳《〈华阳国志·蜀志〉校注》云：‘蒲江’，水名，即今蒲江县的蒲江河。（据《旧唐志》，秦时在曾于江北置蒲阳县，则秦代已称蒲江。民国《邛崃县志》云：蒲阳县在今县东南六十里之永丰镇）。蒲江两岸古有大口盐井。《元和志》卷三三载：距蒲江二十里有盐井。《寰宇记》卷七四谓蒲江县有金釜等八井，岁出课盐六万三千斤。元代仍产盐，明、清之世盐井枯竭。光绪《蒲江县志》卷一载：有已废井盐井位置。”




带呢？这是因河流流经的地区，切割地层，形成较深的河谷。其地下卤、气、油资源埋藏浅，并沿着地裂缝上出露在地面，容易被人们发现，于是，以此凿井、汲卤、采气煎盐。

关于汉、隋时期临邛火井的地理方位、开采利用及其盛衰变化，据史实记载，辑录引证于后。

《蜀都赋》①（见《古文苑》卷四；又《古今图书集成》职方典第五八一卷）载："东有巴賨，绵亘百濮。铜梁、金台；火井、龙湫。""火井"即指临邛火井。

《蜀王本记》①（见《太平御览》卷八六九）载："临邛有火井，深六十丈。"①

西晋张华《博物志》（卷九）载："临邛火井一所，纵广五尺，深二三丈。井在县南百里，昔时人以竹木投取火，诸葛往视之，后火转盛。热盆盖井上煮盐，得盐。入以家火即灭，讫今不复燃也。"

西晋左思《蜀都赋》（李善《文选注》卷四；另见《古今图书集成》职方典第五八一卷）载："火井沉荧于幽泉，高焰飞煽于天陲。"

郭璞《盐池赋》（《全晋文》卷一百二十）载："饴戎见轸于西邻，火井擅奇乎巴濮。"

东晋常璩《华阳国志·蜀志》载："临邛县②……有布濮水，从布濮来合文井江。有火井，夜时光映上昭，民欲其火，先以家火投之，顷许如雷声，火焰出，通耀数十里。以竹筒盛其光藏之，可拽竹终日不灭也。井有二水，取井火煮之，一斛得五斗盐，家火煮之，得无几也。"

郦道元《水经注》卷三三云：临邛县"县有火井盐水，昏夜之时，光兴上照……盖蜀火井之伦，水火相得乃佳矣"。

南朝宋人刘敬叔《异苑》（卷四）载："蜀群临邛县有火井，汉室之隆，则炎赫弥炽；暨桓灵之际，炎势渐微，诸葛亮一瞰而更盛。至景耀元年（258年），人以烛投即灭。"

《隋书·地理志》载："临邛有火井。"

乐史《太平寰宇记》（卷七五）载："火井县，（邛）州西六十三里……秦临邛地。周置火井镇，隋大业十二年置县，仍带镇属临邛郡。"

综上所述，临邛火井于西汉初创建成功，首先是在濮水和蒲江流域开发，并逐渐顺河流地带延伸及向河岸陆地拓展。自汉晋到北周隋，有了巨大发展，形成火井群体，因之，北周时以火井设火井镇，隋朝升为火井县，以此足证。

（二）唐宋时期临邛火井地理方位

据史载，临邛火井自汉隋到唐宋，仍很兴旺。除个别老采区如"临邛县南一百里"火井，由前代延续下来外，这一时期，还开发了一些新区，如，邛州西"孤石山火井""县故城八里"有火井"油榨沱"火井等。同时出现了以火井命名的地名："火井坝""火井槽""唐时古火井处"[22]（即指"油榨沱"）。唐宋时期，

① 见本节"一、临邛火井开凿的年代"。

② 刘琳《〈华阳国志·蜀志〉校注》云："临邛县，秦置，两汉、蜀、晋因之。故城即今邛崃县治，距成都一百里。辖今邛崃、蒲江、大邑三县地。"



火井著名的地区是“油榨沱”。在邛崃县今油榨公社内，唐初火井县令袁天纲祠遗址遗存，祠内遗存石碑一块，碑文云：“住持僧智越述：‘自唐时古火井处。’大清乾隆二十八年癸未冬月立。”同时，当地民众传有“油榨沱”出石油的口碑[22]。油榨沱距高场（即高家场），又名火井坝，唐时为火井县的治所处（今火井公社所在地），恰好八华里。这里的火井，产气又产油。火井在油榨沱，当时修建一座祠庙祭祀这位有“功德”的火井县令，反映了历代邛民对他的纪念[22]。

唐、宋时期，火井县治所曾几度变迁，隋时在今火井镇；唐时在今油榨乡，其初任火井县令为袁天纲；五代前后蜀时期及宋初在今火井镇，宋开宝三年（970年）仍迁至今平落镇，至道三年（997年）仍迁至今火井镇，南宋时复迁至今平落镇[17]。由此看出，县治所的迁移，虽除其他原因外，但与火井有关。

为便于了解唐、宋时期临邛火井地方及变迁，据史载，摘引如下。

唐李吉甫著《元和郡县志》（卷三一）载：“临邛火井广五尺，深三丈，在临邛县南一百。”此火井为上代延续下来的老采区。

又《元和郡县志》（卷二二）载：“火井县，中下，东北至（邛）州六十里，本临邛县地，后魏于此置县，属雅州。武德元年（618年）割‘依政’等五县置邛州，县属下焉。县有盐井。”

《新唐书》第四册卷四二载道：临邛蒲江有“火井”。

乐史《太平寰宇记》剑南西道四“邛州”条载：“火井，在县故县城八里。”

宋王存等《元丰九域志》（卷七）载：“火井，（邛）州西六十二里……有孤石山火井。”

欧阳忞《舆地广记》（卷二九）载：“火井县，本临邛县地，后周置火井镇，隋升为县唐属邛州，有火井……今无复见矣。”

胡昭曦先生亲赴临邛考察后，并在《唐宋时期邛州火井县治的今址》一文明确指出：“唐、宋时期火井在油榨沱。”① 今油榨乡袁天纲祠内有乾隆年间立碑记，“自唐时古火井处”为证。又说：今火井公社在高场，又名火井坝，濒火井江，坐落于火井槽，这些都与火井有关[22]。

由上可知，唐、宋时期，临邛地区，不仅有火井，而且有盐井，同时还有油井、或油气共生井（在油榨沱），或水火混采井。可以说，这一时期，临邛开采的气、油、卤井三者皆备，说明这时地下气、卤资源还比较丰富。

### （三）元明时期临邛火井地理方位

临邛火井，自汉、晋、（北）周、隋、唐、宋，到元、明时期，尚有部分地区继续开采，据史载，主要采区有如下。

张永春《邛崃县建置沿革若干问题的考证》（文刊《四川地方志通讯》1986年第6期）载：元世祖至元二十一年（1284年）前，火井县犹存，置属邛州辖。这之后，因其火井的枯竭，天然气的减少，于是，拆火井县并入大邑县。明初，在高场设火井槽巡检司。说明元、明时期尚有部分火井存在。

明宋应星著《天工开物·井盐》云：“西川有火井，事奇事。其井居然冷水，

---

① 刘琳：《常璩：〈华阳国志·蜀志〉校注》叫“油榨坨”。

绝无火气。……未见火形而用火神（即火焰），此世间大奇事也。”

《明史·地理志》（“邛州”条）载：“西有相台山，下有火井，又有盐井。”

嘉靖《四川总志》（卷一二）载：“火井，在（邛）州治西南八十里。”

杜应芳等《补续全蜀艺文志》（卷四六）载：火井，邛州、蓬溪、富顺有之。

弘历《火井诗》（自注）载：“火井昔著于临邛，今则富顺山中尤盛。”[23]

从上不难看出，临邛火井至元、明时，虽还在生产，但，采区大大减少了。于元世祖至元二十一年（1284 年），即因火井减少，于是，将安仁、火井二县并入大邑县。同时，高场即火井坝巡检司①，也随之迁移州南二十五里这些都证实临邛火井历经长期和大量的开发，到元、明时期已逐渐枯竭。故此，才有“临邛火井著闻于古而灭于今”[24]之说。当然，这里的天然气（石油及卤水）资源经长期开采而枯竭，采区的萎缩，是自然规律，无可非议。更有意义的正是临邛火井连续生产了十七八个世纪，这在古今世界上也是罕见的油气矿区。

**三、临邛火井开凿的重要意义**

临邛火井是人类历史上开凿的第一口天然气井，堪称世界之最。它的创建成功，乃是现代大规模开发和利用石油、天然气的前奏，在世界新能源利用史上占有重要地位。同时，也为临邛地区带来了巨变。因此，临邛火井的开凿，具有重要意义。

（一）临邛火井在新能源开发和利用史上的地位

中国是最早发现天然气的国家之一。开凿天然气井并将天然气新能源利用于工业生产，则是世界上最早的国家。而四川临邛地区凿井、采气、制盐，又是我国最早的地区，为此，临邛火井的创建和利用，在我国及世界新能源开发史上占有重要地位。

石油和天然气工业的勃兴和发展，只是近百余年以来的事。但，追溯既往，我们聪明、勤劳的祖先，在天然气开发和利用上，作出了极其光辉的成就。早在数千年以前，在世界上一些地区，包括中国在内，发现了地下浅层天然气出露地面。但，地下天然气资源，通过凿井、开采及利用，却是我国最早。从零星的采集至凿井大量的开发，则是人类认识和利用新能源的重大突破。我国四川临邛第一批火井创建，成为世界上最早利用天然气新能源的国家，比西方国家（如英国）利用天然气要早 13 个多世纪[25]。据（晋）张华《博物志》卷九的记载：我们的先民们，将天然气用于制盐工业生产“执盆盖井上煮盐，得盐。”[26]并且还懂得了“取井火煮”盐，比用“家火（即柴薪）煮之，得无几也”[27]，更有发热量高，成盐率多的工业生产价值和经济价值。宋人刘攽《彭城集》卷一四写下了“火井煮盐收倍利，山田种竽劝深耕”的史诗。而西方某些国家的僧侣，则以天然气当成永不灭的“圣火”来朝拜，愚昧无知。

总之，就世界范围而言，石油与天然气大规模的开发，广泛用于工业、农业、交通业等，乃是现代社会。临邛火井的开凿和利用，则是现代石油、天然气工业的先声。其劈荆之路，开创之功，不可磨灭。

---

① 据（明）何宇度《益部谈资》卷上记载：直到明代，临邛还专设有火井巡检司。但随着火井的减少，天然气的枯竭，火井巡检司向南迁移。



（二）临邛火井与临邛地区巨变

西汉初，临邛火井的创建，大大鼓励了邛民开凿盐井的积极性。并以天然气照明、煮卤熬盐的奇特功能，从而进一步推动了盐业的兴起和发展。秦末临邛冶铁业的崛起，铁工具的使用，为西汉初盐井和火井的开凿创造了条件。与此同时，井盐业的勃兴，又促进了冶铁业的发展。城市的兴建，商贸的繁荣，经济的发展，临邛因此一跃成为四川和西南盐铁业的中心。西汉时，临邛因盐铁业发达，专设“有铁官、盐官”① 分管铁业和盐业。

随着临邛地区社会经济的繁荣，火井渐兴，一时名流云集，商贾辐辏，观井咏今，称奇诧异，名播四海，其知名度大为提高。南北朝萧梁时，由县治升设邛州。隋炀帝大业三年（607 年），废州改郡。唐朝代宗、僖宗及五代前蜀时，曾在临邛设置过节度使。（北）周隋时期，火井有了重大的发展。于是，北周时，以火井之名专设火井镇，炀帝大业十二年（616 年），又改镇置火井县，唐、宋均因之[17]。在四川井史上，因有富世盐井立富世县（今四川富顺县），或因大公盐井设大公镇、公井县（今自贡市贡井区），或因陵井置陵州（今仁寿县）等。则均以凿井煎盐，给当地致富、经济活跃、社会进步，因而，特以井名设镇、立县、置州、建市。足见，火井大量的开发，盐业的繁盛，以此构成临邛地区的政治和经济要素，且占有举足轻重的地位，促进了临邛地区的发展和巨变。

## 第三节　我国古代开发的大气田——自流井天然气田（北周至清代）

举世闻名的自流井大气田，是人类历史上最早发现和开采的大气田。因而，这个气田的发现和开发，在世界天然气开发史上，占有重要的篇章。

自流井气田主要位于大安、自流井及贡井地区，总计面积为 125 平方千米，其中，历史上采区面积约 60 平方千米。主要产气层位有三叠系上统（香溪群）中的香$_{六}$、香$_{四}$及香$_{二}$段地层（古代俗称草皮火层，即今名浅气层），与黄卤共生；三叠系中统雷口坡组的雷$_{一}$、雷$_{三}$段地层（古代俗称中脉火层），与黑卤同层；三叠系下统嘉陵江组的嘉$_{五}$段地层（亦称中脉火层），与黑卤共生兼采；嘉$_{四}$段底至嘉$_{三}$段地层（古称深层之大火，或曰底火层），为自流井气田的主气层，一般只产气，不产水，因而又称纯气层。该气田从上至下，有八层气，其上部三层气（香$_{六}$、香$_{四}$、香$_{二}$）草皮火；中部三层气（雷$_{一}$、雷$_{三}$、嘉$_{五}$）古人总称中脉火；下部二层气（嘉$_{四}$1 至嘉$_{三}$层）古称深层火，即主气层，或曰嘉$_{三}$气藏。

以自流井气田为中心的自贡地区（此仅限自流井和贡井地域，尚未包括富、

① 班固撰《汉书》第六册卷二八明确记载：“临邛……有铁官、盐官。”又，常璩著《华阳国志·蜀志》说：“孝宣帝地节三年（公元前 67 年），罢汶郡，置北部都尉。时又穿临邛、蒲江盐井二十所，增置盐、铁。”若以地节三年临邛增置盐、铁官，时略早了一点。对此，中国科学院自然学科史研究所何堂坤研究员，提出了修正意见：“在先秦时期，秦、齐等国大约都有过盐官、铁官，但临邛一带恐无盐、铁官；而作为中央统一的，在全国范围设置盐、铁官应当是西汉中期的事。”据此，四川临邛设置盐、铁官亦应当定在西汉中期较恰当。

荣两县），是四川也是我国著名的古老盐场。早在1 400多年前，这里便开始凿井采卤了，并发现和利用少量天然气煎盐。钻井技术的发明，不仅使石油和天然气工业在我国的诞生，更重要的是先民们应用这种先进技术和工具，大规模地开发了我国第一个天然气田——自流井气田（见图8－1）。

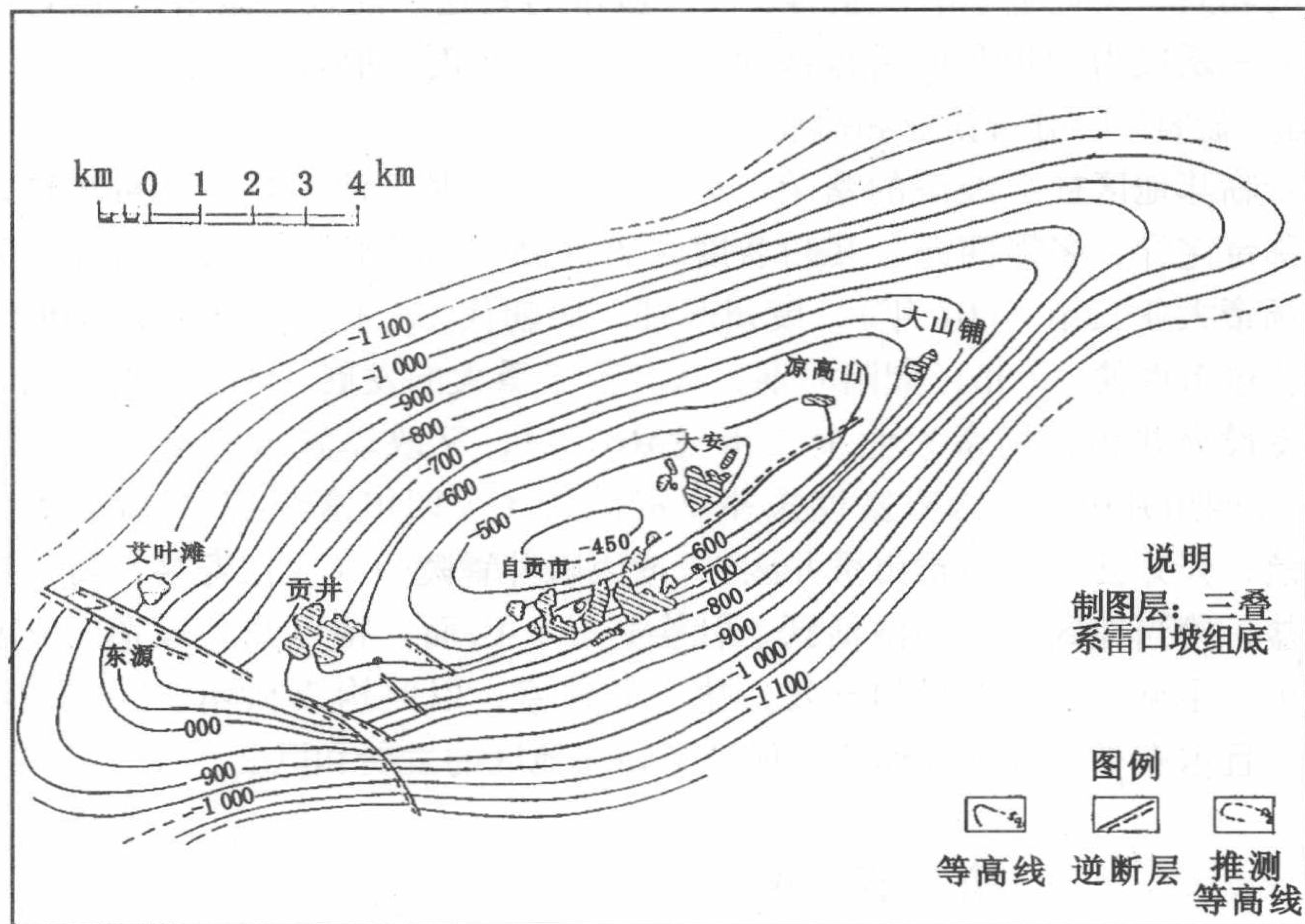



图8－1　自流井气田构造图

采自：四川石油管理局川西南矿区等《寰盆低压采气机理研究和分析》

## 一、气田开发简史

自流井气田，地下气、卤层重叠相间，埋藏气卤资源非常丰富，历经了漫长岁月的开采。其开发简史，根据不同时期开采井深、产气层位及采区的拓展等，可划分为五个时期：

### （一）6世纪至11世纪40年代

自流井构造是世界上最早开发的气田，其开发历史与卤水资源同步。从6世纪起，大公井凿成，开始发掘了地表浅气层。至此，便揭开了自流井气田开发的序幕。但这一时期，为人工挖井，以采卤为主，而产气量甚微，利用极少。

### （二）11世纪40年代至16世纪中叶

这一时期，由于北宋庆历、皇祐年间（1041—1054），钻井技术的发明，卓筒井新工艺的出现，钻井深度约100～300米，钻开了三叠系香溪群上部的气、卤资源（盐场俗称：上层草皮火和草皮水），利用天然气煎盐的数量有所增加。

### （三）16世纪中叶至明末

熊过《南沙文集》卷四记载：明嘉靖十八年至三十三年间（1539—1554），当时由于富义盐井、邓井等坍塌，或因井老水枯，致命废弃。为发展井盐生产，自贡勤劳智慧的人民，又在荣溪水滨，即自流井气田的中心地区，钻凿了以自流井



为代表的一批新盐井。这些新井的凿成，使自流井气田的开发，由西部（大公井）拓展到了中部地区，不仅开拓了井盐生产的新采区，为古老的盐场带来了生机，而且也为自流井气田的开发创造了条件。钻井深度达到300~500米，天然气储藏被逐层揭开。这时，自流井、郭家坳、土地坡、扇子坝、凉高山、贡井等地相继钻成了大批的天然气井，开采香溪群上至中部地层的黄卤，兼采浅层天然气（盐场俗称中层草皮火）。

明万历年间（1573—1619），钻井深度已广泛揭露三叠系上统香溪群中部的气、卤资源，采气煎盐兴起。据《李氏族谱》（卷一〇）记述："十一世祖讳（李）汉应，字对吾，十世祖长子。明万历中……与胞弟汉祯同居，将卒，以火井坡山田一分及火井载课一口，让汉祯管业。"这一条史记清楚说明，自流井地区，在明万历年间，不仅有利用天然气煎盐，而且还用火井命名为地名——火井坡。此时的天然气生产井已纳入了国家征税的范围。又，成书约于1 600年的《益部谈资》（上卷），亦对自流井气田的开发有所记载："火井，邛州、蓬溪、富顺均有之。"由此可以佐证，此时，自流井气田得以进一步开发。

明代天启年间（1621—1628），自流井气田的开采有了较大的发展。这一时期，有盐井和气井"三百八十眼"[28]。为此，自流井气田的开发，已初具规模。

（四）17世纪40年代至19世纪初（1820年）

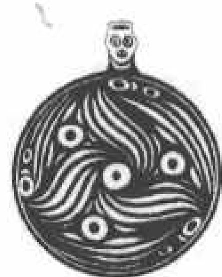
清廷初，由于推行"听民穿井，永不加课"的盐政，于是，使自贡地区的盐业从兵焚战乱中复苏和发展起来。出现了"广开井灶""盐井日旺"[28]的新局面。钻井深度已达500~700米，开采三叠系香溪群中至下部的气、卤资源（俗称中、下层草皮火）。如，清雍正年间钻成的永通井，一井所产的气，已经能煎盐16口锅了。当时，就井设灶，引火上灶煎盐，甚为普遍，自流井气田进入了采气煎盐的兴盛时期。清初，金肖孙在任富顺县令时，亲临富荣盐场视察，天然气煮盐蒸云奇观，令人陶醉，观景题咏，赞美自流井的"火井"诗："九渊一炬起，高岭列灶烘。能省樵夫力，兼成煮海功。"[29]

（五）19世纪初至19世纪中叶

由于钻井技术的发展和完善，自流井气田钻井深度已达800~1 000米，进入三叠系嘉陵江石灰岩含气层（系包括古人俗称的中脉火及底层大火），获得了极为丰富的气源，如当时盐商李四友堂与陕商高某合资兴办的海顺、海旺、大荣三口井，共烧火圈达600多口[30]（折今日产天然气60 000立方米左右）。又1835年，大安兴海井突破1 000米，揭开了嘉$_{四}$至嘉$_{三}$气层，初期日产天然气为8 500立方米。1836年，凉高山地区泗涌井钻获嘉$_{五}$层天然气，这时，自流井气田的采区范围，又由中部地区向东部延伸开拓，扩大到了整个气田。

1850年至1855年，在自流井气田中心地区（即自流井构造顶部），钻成了最大的一口天然气井——磨子井，初计日产气量达100万立方米，史称"古今第一大火井"[31]，再次揭开了自流井气田的主气层即嘉$_{三}$气层（古称深井之大火，或称底火）。至此，自流井气田的开发进入了崭新的时期。

清咸丰、同治年间（1851—1874），因太平天国革命爆发，淮盐不能上运，实行川盐济楚，富荣（今自贡）盐业得以迅速发展，这一时期，千米深井增多，自




流井构造顶部嘉$_{三}$气层投入大规模开发，日产天然气达 14.3 万立方米。由于嘉$_{三}$气层的开发，致使自流井气田的天然气生产进入鼎盛时期。至清末，自流井气田的开发，仍继续沿着东西方位拓展。

据史载：清雍正八年（1730 年），有盐井 298 眼。乾隆二十三年（1758 年），有盐井 413 眼，火井 11 眼。嘉庆十七年（1812 年），有火井 33 眼[28]。光绪年间，有火井 3 000 ~5 000 眼，废井（包括卤、气井）则达 10 000 余眼。吴炜等编《四川盐政史》卷二记载：水火井 980 眼，而废井有 11 800 余眼。

**二、气田开发特点**[32]

自流井气田，地下产气层多，天然气资源甚丰，开采历史悠久，为世界上罕见的气田。其特点是开采历史漫长，具有阶段性，初期钻采气井产量大、压力高、下降快；地下（产气区）天然气的富集与产出，与岩层裂缝发育程度密切相关。

（一）气田开发的阶段性

自流井气田，地下天然气蕴藏极为丰富，具有产气层位多，分布面积广，气井裸眼生产，敞口采气，因而气田获得充分开采的特点。其开采气量以底火层（即嘉$_{四}$至嘉$_{三}$天然气）为主；中层火（即雷口坡组和嘉$_{五}$层天然气）次之；草皮火（即香溪群中天然气）再次之。该气田从 6 世纪迄今，历时开发 14 个多世纪，在这漫长的时期中，根据开采程度不同和盛衰的变化，天然气开发大致可划分为四个阶段：

1. 早期开发阶段（6 世纪至 1820 年）

这一阶段，由大口井发展成卓筒井，主要揭露和开采草皮火层（即香$_{二}$、香$_{四}$、香$_{六}$产气层）。以清初雍正、乾隆年间产气渐盛，多为气、卤同采，以气煎盐。

2. 普遍开发阶段（1821—1855）

由于钻井工艺技术的发展和完备，这一时期中，钻成了大量的小口深井，凿井深度突破千米，普遍揭穿了中脉火层（如雷口坡雷$_{一}$、雷$_{三}$及嘉$_{五}$气层），天然气大量的开采，用于煎盐，促进了井盐业的发展。尤其是于 1835 年燊（兴）海井和 1855 年磨子井钻入底火层，获特大气流，使产气量猛增，至此，底层火引起了广泛的重视。

3. 大规模开发阶段（1856—1940）

为加速底层火（即嘉$_{三}$层气藏）的开发，千米深井普遍，出现了一批高产气井。仅于 1856 年至 1914 年间，在气田中心部位钻成气井为 109 眼，累计产气量达 111.2 亿立方米，平均年产气量 1.77 亿立方米，促进了自贡井盐业的飞速发展。于 1855 年至 1875 年间，累计产盐达 545 万吨，年平均产盐 21.8 万吨，创造了历史最新纪录，称川盐发展的“黄金时代”。至清末，因天然气大量用于煎盐，自贡井盐生产一直保持这个高水平。

4. 后期开发阶段

即低压阶段，其特点是压力低，开采时间长。自流井大气田，从 6 世纪迄今，历经 1 400 多年的连续开采，而地下的天然气资源仍然较为丰富，至今仍在继续开发和利用，其开发经验具有深远的历史和现实意义，因而，引起人们普遍的关注和兴趣。



（二）典型的裂缝性气藏

据清代钻井和地质原始记录——“岩口簿”大量的记载着自流井气田的岩层“裂缝”，古人又把这种“裂缝”分为“立缝”和“横缝”，并明确指出了岩层裂缝与气水的关系：“立缝见火”“横缝见水”。今天，运用现代地质科学综合研究证实，自流井构造是一个典型的裂缝性气田。这说明自贡的先民们，在古代对自流井气田的裂缝规律有了明确认识。

自流井气田天然气的富集和产出，与岩层裂缝发育程度密切相关，具有典型的裂缝性气田的特点：

1. 气田岩层裂缝在平面上的分布和方位

自流井气田经过 14 个多世纪的漫长开采，于 1825 年首次揭露了底火层，其后，又在 1850 年至 1855 年再次钻入底火（主气）层。至此，气田的开发和利用进入一个新的时期，开采区域逐步扩大和发展。根据自流井气田开采历史和生产实践证明，气田岩层裂缝在平面上的分布和方位，主要沿着背斜构造轴部及长轴采区、东部采区、西部采区等三个区域进行布井和开发利用。三个采区，在平面上呈条带状分布的特点。

2. “立缝见火”

天然气的富集和产出，在地层纵向上决定是否钻遇裂缝。古代钻井中十分重视钻遇裂缝情况，并总结出许多判断和确定岩层裂缝性质的经验及制作成多种测考裂缝的工具，提出“有火有水必有缝”。钻井能否见功（即钻遇气、或油、或卤），关键在于是否钻到岩层裂缝，即大缝产大气，小缝产小气，无缝不产气。又明确指出：“立缝见火”“横缝见水”。如，构造顶部的磨子井，恰是在停搁前的最后一班钻井中，突然钻开井下地层裂缝，发生了强烈的井喷，产生高产、高压的天然气，成为我国清代也是古代最大的一口气井。又如，长发井、东源井、源丰井等，都是在钻井过程中，钻遇大“立缝”而获大气的。

3. 气井开采多具有“初产量高、递减快、寿命长”的特点

如前提及的磨子井，于 1850 年开钻，至 1855 年钻成，初期高产约 100 万立方米/日，并形成冲天大火。到 1861 年时，才将大火扑灭，产气量迅速降至 16 万立方米/日左右。至 1876 年，气量再降为 4 万立方米/日。但该井生产寿命很长，从始产到熄灭，先后开采时间长达 115 年左右。

此外，也有少数井能持久稳产、高产。如，东源井于 20 世纪初钻获工业气流，日产气量 3 万立方米，长期稳产、高产近 100 年，至今仍日产气 2.7 万立方米，累计产气近 6.0 亿立方米。这是由于井内裂缝发育，井间连通性能良好所形成。

（三）独特的采气工艺技术

我国古代天然气开采工艺技术，是在长期生产实践中产生、发展及不断完善的。其主要特点：一是裸井眼、敞井口、无阻流量开采；二是应用排水采气；三是采气工艺和设备（包括测试、井口装置、输气等）先进和完善。因而，具有科技性、经济性、实用性等特点。当时，堪称世界一绝（关于天然气开采工艺，下详见第五节）。

（四）气田采出气量的推算





自流井大气田，历经千百年来的开采，究竟产了多少天然气，过去并无准确的记录。现今根据各时期的产气井数，或以每千克盐单位耗气量、或以气灶年平均用气量等史料综合研究推算。

据胡砺善著的《祖国石油与天然气史话》一书[18]中认为：古老的自贡盐场用于煎制食盐的天然气约为147亿立方米。

原石油工业部四川勘探局110专题研究队，在《四川盆地自流井专题研究总结报告》（1955年）里，推算三叠系“嘉陵江灰岩”地层中，采气总计约有165亿立方米①。

原自贡市盐局聂成勋，在编写的《自流井构造盐、卤资源的开发状态及合理开发方案探讨》（1978年）报告中，提出该构造即自流井气田累计产气为331亿立方米。其中嘉陵江组（$T_C3$、$T_C4$底及$T_C5$）总计产气203.72亿立方米。关于气田分层产气量（见表8－2）。

**表8－2 气田分层产气量**

| 产层 | 累计产量（亿立方米） | 占气田总产（%） | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| Tn | 127.28 | 38.20 | 可靠程度差，供参考 |
| Tr | 18.46 | 5.60 | |
| $T_{C5}$ | 17.11 | 5.20 | |
| $T_{C3}+T_{C4}$底 | 168.15 | 51.00 | |
| 合计 | 331.00 | 100.00 | |

由于气田开采历史古久，早期史料很少，采出的气量，涉及问题较复杂，所受影响因素颇多，所以，难免专家推算的气量有出入。

## 三、气田开发了一批有重要价值的气井

自流井气田钻采天然气井的数目，史籍无连续和准确记载。但据前人统计和研究，自贡历代的开拓者们，在自流井构造上先后钻井13 000多眼，其中天然气井为3 000到5 000眼，气卤井密集，星罗棋布，人称“自贡是盐井的王国”[33]。从而开发了一批有重要历史价值和科学价值的气井。

气田现存最早的井——小桥井。小桥井位于自流井区芦厂坝釜溪河东岸，与隔河西岸著名的自流井相望。因井位于在一座小桥旁，故名小桥井。该井于清乾隆三十七年（1772年）开办，井径仅7.3厘米，深度304.9米。到见功时，烧盐锅两口（折今日产气200立方米）。小桥井自开凿迄今有225年的悠久历史，是自贡盐场现存最古老的生产气井，其地面设施如天车、大车、灶房等保存完好，反映了清代早期就井设灶生产现场和采气工艺，独具特色，别有韵味。为此，它是今天不可多得的现场文物。1985年自贡市人民政府把它作为独特的盐史遗址，首

① 1955年，110专题研究队报告中，将三叠系“嘉陵江灰岩”划分为$T_C1$至$T_C9$，共计9层。之后，地质上又把三叠系“嘉陵江灰岩”划分为中统及下统，中、下统以绿豆岩标准层为界。165亿立方米天然气，系中统雷口坡组及下统嘉陵江组共采气量。



批列为市级文物保护单位，供科学考察和游客观赏。

世界上第一口超千米的深井——燊（兴）海井。燊海井位于自贡大安区长堰塘旁，是一眼气水共采的生产井。

燊（兴）海井是我们的先民们，发挥聪明才智和伟大的创造力，运用精巧的木、竹、铁制工具和高超的钻井技术，于清代道光十五年（1835 年）钻成，井径 12 厘米，井深 1 001.42 米。它的创建，是我国古代钻井工艺成熟的标志，也是世界上第一口超千米的深井，同时雄辩的证明，19 世纪初，我国钻井技术大大领先于西方国家（当时西方如美国最深井，仅为 518 米）。

本着“整旧如旧”① 的原则，修复领导小组于 1984 年 1 月开工，至 1985 年 1 月，基本完成全井的修复工程。自此对外开放，它以卓立的天车，灵巧的碓架，巨大的绞车等排列、安置在宽敞的井场上。这些机械功能奇特，成龙配套，令人惊叹！1988 年 1 月，国务院列为全国重点文物保护单位。

气田第一大火井——集成井，又名磨子井。其井地址位于自流井五星店北部。于 1850 年至 1855 年钻成，井深约 1 000 米。见功时，曾发生强烈气喷，大火绵延不绝（对空燃烧长达 20 年），火光冲天，高达数十米，30 里外都能看到。井喷天然气流量在 100 万立方米/日以上，井口压力 100 千克/平方厘米，实属高产、高压的大气井，古称气田“第一大火井”。大火扑灭后，尚“烧锅四百余口，经二十年犹旺也”[34]。据说，当时清朝皇帝就知道自贡地区（气田）三口井：一为自流井；二为集成（磨井）井；三为金丰井[16]。

这口大火井钻凿成功，在自流井开发史上，具有重要的历史意义和重大的科研价值。

火旺井——海顺井。该井位于自贡大安杨家冲地区，约 1855 年至 1860 年开始见功，烧锅 700 余口②（折今天然气 70 000 立方米/日），史称“水之极旺”井[34]。据调查和研究，这口火旺井先后钻遇三层大气：第一层气是井深约 880 米钻到，煎火圈 720 余口，生产十年之久，火力衰弱，修井落难，解除井内故障后，火即熄灭。复加深约 950 米时，又见第二层气，煎火圈 300 余口，经开采 32 年左右，火力缩减，逐渐枯竭。之后，接着加深至 1 000 米左右，再见第三层气，共烧 120 火圈口（折今天然气 12 000 立方米/日），因火力衰竭，同时发生井下重大落锉事故，竟未捞取太平，以致继续产气至停搁。据推算，本井累计产气量为 3.07 亿立方米[31]。

自流井气田，气卤资源甚丰，钻盐井上万，其中气井亦以数千计，上述仅举数井。众井里有不少著名的气井，或以气井最老，或以钻深盖世，或以气流量巨大，或以产气层奇特众多，或以井下地质特征等，成为古代气井的典范。并供今天国内外游客参观和专家、学者考察。为此，自流井气田及其著名气井，以它独特的人文景观和科技价值，深受中外人士高度的赞誉。

---

① 1984 年 1 月至 1985 年 1 月，燊（兴）海井是按清代井灶建筑结构风貌复原。

② 一口火按昼夜 100 立方米计。





## 四、气田开发的意义及启示

自流井气田具有开采历史久远，钻井众多，采气工艺独特，地质条件得天独厚，产气层位多，气、卤资源甚丰等特点，在国内外天然气田开采中，具有典型意义。

气田的开发和利用，是一项复杂的系统工程，涉及多种科技的应用，即包括地质、钻井、采气、输气等。由于社会的进步，科技的发展，虽然古代气田钻采技术，现在已被新工艺所取代，但是，其中尚有一些科技原理，仍然值得今天继承和发扬。如，先民对气田地质的认识，气藏特征的分析，钻采结合，逐层开采气卤，边钻边采的井口装置，就地开采和利用等，至今对浅气层的开发和利用，都有借鉴和指导意义。

### （一）气田得天独厚的地质条件

自流井气田，位于大安、自流井及贡井地区。其闭合面积125平方千米，历史上钻采面积约60平方千米。地下岩层裂缝发育，沿轴线裂缝连通性良好，纵向产气层位多，含气层（如底火嘉$_{三}$层、中火嘉$_{五}$层等）与封隔保护层（如，石膏、岩盐等）交替出现，相间层叠，从而有利于气、卤资源的富集和保存。

先民们在长期开发气卤的实践中，积累了丰富的地质、采气经验和知识。如，气田地质特点、产气层位、裂缝规律、布井方法等，都有比较明确的认识，并总结和提出“立缝见气”、“横缝见水”的科技见解。根据自流井气田属于裂缝气藏的特点，在构造顶部裂缝发育地带，西部断裂地带及东部断裂地带，先后钻凿气井数千眼，采出天然气达331亿立方米，在我国和世界油、气开发中，有着不可磨灭的历史功绩。因而，引起国内外专家普遍的关注。

### （二）顿钻凿井裸眼采气

自流井气田产气层位，就古代地下气藏而言，埋藏较深（最深约1 000～1 200米）。我们的先辈发明和完善的冲击式顿钻技术，并以这种方法钻凿气井，尤其是钻凿低压气井，有利于保护气层，可充分暴露出气裂缝，使气流畅通无阻，沿裂缝流入井筒产出。同时，漫长的开采历史，钻井众多，裸（井）眼、敞口、无阻流量采气，为裂缝性气藏获得充分的开发和利用，起到了重要作用。

### （三）创造了一套完整的钻、试、采、输工艺

先民们在生产实践中，根据地质、钻井及开采的需要，创造了一套完整的、卓有成效的钻采工艺技术，形成钻井、试气、采气及输气的系统工程。如，冲击式顿钻凿井与汲卤相结合，钻（井）采（气）合一，气水同采，分层开采，于是，极大地提高了气卤资源的采收率。又如，先辈们创造性采用试气工具，井窻盆装置和汇输（气）系统相结合，确保了气、卤资源综合开采，合理利用，做到“地尽其力，物尽其用”。从而大大减少了宝贵资源的损耗和浪费，延长了气藏的开采寿命。

自流井大气田，是人类历史上第一个进行大规模开发的天然气田。这个气田，虽经千百年连续开采，已采出天然气多达331亿立方米，但至今仍有强大的生命力，日产天然气10～20万立方米，同时还有新的裂缝系统和含气区的发现，仍将在井盐生产和经济建设中，继续发挥其重要作用，作出新的贡献。



## 第四节　我国清代最大的一口气井

## ——“火井王”磨子井

“烈焰隆隆出井中”[35]，

“高焰飞煽于天陲”[36]。

四川自流井大气田，钻采历史悠久，驰名中外。在这个气田里，先后钻采的天然气井多达数千口①，其中以磨子井产气量最高，压力最大，居自贡盐场之冠，素有“火井王”之称[31]。磨子井钻凿成功，不仅是我国清代最大的一口气井，而且也是我国古代最大的一口气井。同时，这口气井的开凿，确立了自流井构造地下的“高点”，则是对石油地质理论上的一个重大贡献，为四川勘探和开发新的气田开了先河。为此，“火井王”——磨子井的开采，在我国油气开发史上，乃至世界开发史上，写下了不朽的篇章。

### 一、磨子井开凿的背景

磨子井的开凿与当时自贡盐业的兴盛及“川盐济楚”是紧密相关的。

清初，自贡盐业逐渐恢复了因“战乱”带来的破坏。井盐发展、盐业兴旺，自贡厂与川北射篷厂、犍乐厂齐名，已是四川五大盐产地之一。据史载，清雍正八年（1730 年），自贡厂有盐井 298 眼，煎盐锅 755 口；乾隆二十三年（1758 年），有盐井 424 眼，煎盐锅 1 001 口[28]。若每锅日产盐平均以 100 斤计，则年产盐量为 3 600 万斤（18 000 吨），而当时全川产盐量在一亿斤（50 000 吨）左右，自贡盐占全川盐量的 1/3 强；嘉庆以后，由于钻治井工具的日臻完善，钻探工艺的成熟，促使了盐业的飞跃发展。道光中叶（1835 年），燊（兴）海井钻深超千米。该井的钻凿成功，为勘探井和生产井向地层深部开凿寻找新的矿产资源，树立了榜样，“采取嘉$_{五}$层的黑卤水和嘉$_{三}$层的天然气，以无可置疑的事实明确告诉人们：在地下（地层）深部有丰富的自然资源，从而启发人们积极向地层深部探寻石油、天然气及卤水。随后，在燊海井西部附近，遂钻获了一口最大的天然气井——磨子井。”[37]

继自贡盐场开凿千米深井——燊（兴）海井之后，磨子井是钻获的第一口大型气井。这口最大气井的钻获亦与当时“川盐济楚”，自贡地区大兴井灶有关。

清咸丰三年，太平天国定都南京，控制了长江下游一带，淮（海）盐不能上运，湘鄂人民食盐，奉清政府准许，改供四川井盐。楚岸归川，为川盐拓宽了广阔市场，食盐销量激增，获得了丰厚的利润，从而促进了四川盐业的发展。这时，气卤资源丰富，技术先进的自贡盐场是大发展的良机，遂井架林立，井灶大兴，百工荟萃，商贾辐辏，盐业达到了空前的繁荣，步入了“鼎盛时期”。于是，千米

① 宋良曦、钟长永《川盐史论》（四川人民出版社，1990 年）统计，自流井气田气井数为“3263 眼”。又，丁传柏、聂成勋、马宗瑶《自流井构造天然气开发历史解析》（载彭泽益、王仁远主编《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991 年）中云：“清光绪年间（自流井采区），有火井三千到五千眼，（另有）废井一万余。”本卷作者注：关于自流井气田，历史上钻采气井数目有多少，查史籍无连续准确的记载，为此，以上引用有关作者文献的调查和统计，供读者参考。





或千米以上的深井大量钻成，如，磨子井、海顺井、灯连等大型气井就是在这一时期先后问世的。从1855年至1864年十年间，新凿井数超过100眼。据《四川盐政史》卷二记载："洪、杨事起（即太平天国革命运动），长江梗阻，淮盐不能上运，湘、鄂民苦淡食，乃以川盐济销……于是富场乃大开井灶，并办深井及于火脉，火乃大升。"自贡籍近人熊楚，在笔记《自贡地质矿产盐业问题》（民国二十四年印本）里述道："集成（磨子井）在连海（井）正北，七八十年前……出猛火……火久不能灭。"自贡著名盐商（新四大家族之一）、井矿工程师熊佐周（1892—1958）曾说：自贡"出大火时代，大约是在洪、扬军兴以后，以前都是黄水……主要是是炭灶，火井很少，火不够烧，洪、扬军兴，自流井增辟井灶……创始在东豆区，产量极大。……当时东豆区最出名的就是磨子井、灯连井，磨子火舌数十丈高，附近无论什么地带，插一根管子都可以烧火"[31]。

清人进士李榕亲临目睹磨子井的火，他在《自流井记》中述道："磨子井水、油二种经二三年而涸，火可烧四百余口，经二十余年犹旺也。"同时又在文章里溯到自流井地区出水状况的演变："国朝道光初年见微火，时烧盐者，率以柴炭，引井火者，十之一耳。至咸丰七、八年（1857年、1858年）而盛，至同治初年（约1862年）而大盛。"

由上述史实，我们可得出：

第一，磨子井的开凿成功，与自贡盐业的发展和兴盛是分不开的。尤其燊（兴）海井钻凿上千米，为磨子井向地下深部钻探，寻找气、卤及盐矿资源，提供了地质科学依据。同时，钻治井工具发展的完备和钻探工艺的成熟，又为磨子井开凿成功提供了手段。

第二，"川盐济楚"为自贡食盐销路开辟了广阔的市场，是时，自贡大兴井灶，商贾辐辏，从而加速了磨子井向地下深部矿产资源的开拓。

第三，磨子井出大火的年代，据李榕《自流井记》，吴炜待主编的《四川盐政史》卷二、熊楚笔记《自贡地质矿产盐业问题》等史载可知，磨子井的见功，是在太平天国兴军即"川盐济楚"时期。李榕亲临自流井考察是"光绪二年（1876年），他的《自流井记》应当是看火井后之作"[38]。而且"看火井"时距磨子井出火已"二十余年"了。由此推定磨子井出大火年代是在1855年左右。（有关出大火时间，各说不一，有说1840年，也有说1850年及1860年）。

磨子井见功在1855年左右，而它的初开时间又源于何年？截至今天，尚无寻查到史料，因此，难以确切考定。但是，根据当时盐业生产的发展及钻治水平进行推定，自流井钻凿一眼上千米或超千米的深井，"常程可四五年，或十余年，有数十年更数姓而见功者"[34]。即是钻凿一眼井比较顺利，也是四五年（见表8－3）。因此，推算磨子井开凿时间是在太平天国兴军前夕，即1850年左右。



**表 8－3　自贡盐场常程钻深上千米的深井需要工期**

| 井名 | 钻深（米） | 开钻和完钻的时间 |
|---|---|---|
| 是富井 | 1 009.46 | 1870 年至 1874 年总计约四年 |
| 宝龙井 | 1 151.30 | 1908 年至 1913 年总计约五年 |
| 龙旺井 | 1 105.20 | 1909 年至 1913 年总计约四年 |
| 逢源井 | 1 067.58 | 1911 年至 1915 年总计约五年 |

注：据自流井盐厂是富井、宝龙井、龙旺井、逢源井《井矿卡片》记载

为此，磨子井开办和“见功”时间，推定在 1850 年至 1855 年左右。

## 二、磨子井的深度

如前所述，磨子井是当时自贡盐场（也是我国）钻获的一眼最大气井。约 1876 年，李榕赴自流井考察，撰有《自流井记》一文，此文对磨子井出火二十余年后还“旺也”，做了扼要记录，这是十分可贵的。但是，它的井深多少，没有记载，其他史料尚无可寻。现今有的认为井深“1 200 米”，又有的认为“1 100 米”左右，究竟井深多少，至今仍是一个问题，为此，有必要对其进行研讨。

查磨子井井口地层为大坟堡泥岩，井底层位为嘉$_{三}$层。同时根据其附近自$_{二}$井和老井地层对比分析、推算，该井所钻遇地层和深度，见图 8－2。

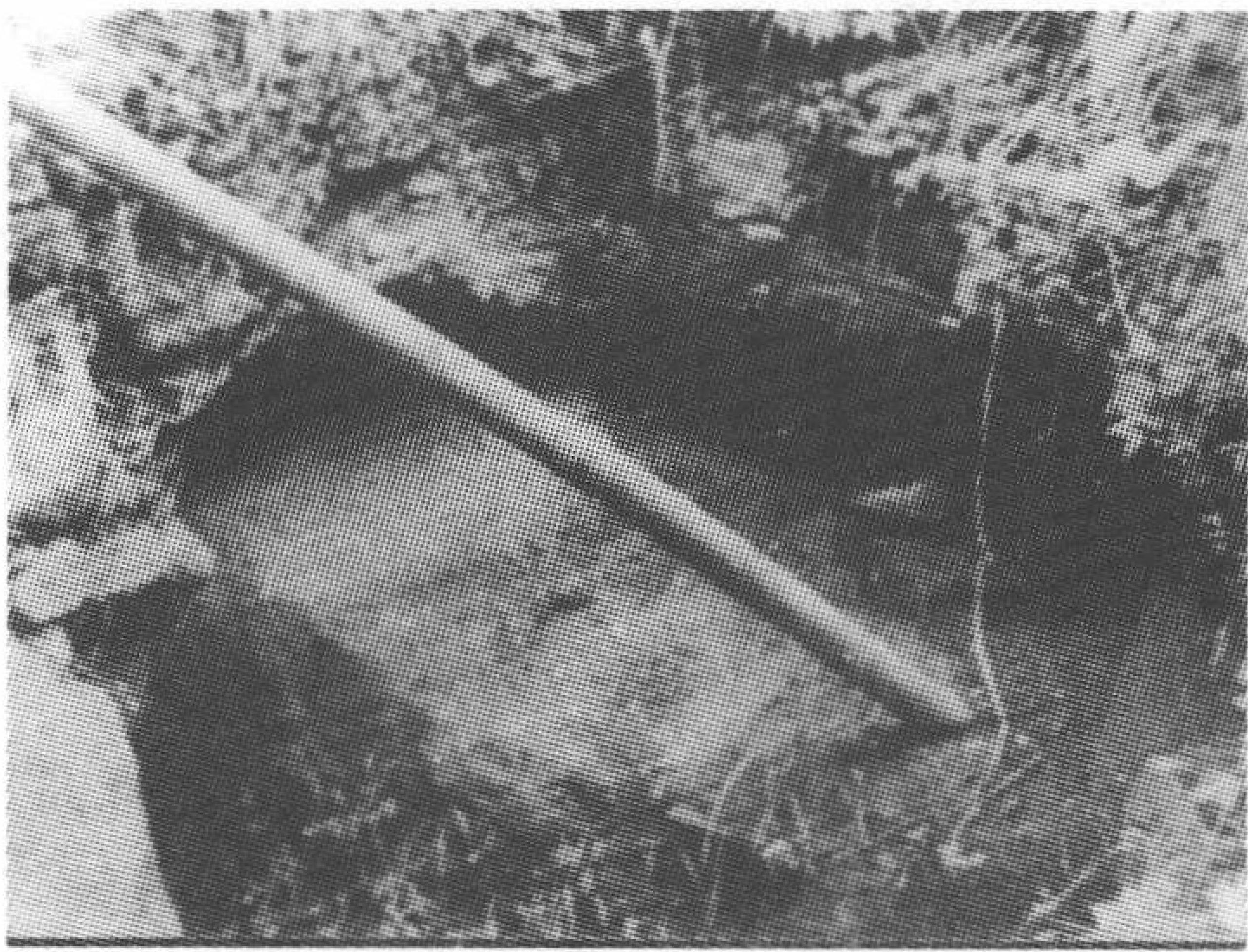


**图 8－2　磨子井遗址　清代**

注：20 世纪 50 年代初，人们把采气簾盆拆了，地面井口塌陷凹下，但井内产（约 100 立方米/日）天然气，用竹管插入井内输气

**据自＿井和老井地层对比以确定磨子井地层剖面和井深**

磨子井地层剖面

| 地层 | 钻深（米） | 厚度（米） |
|---|---|---|
| 自流井群 | 0～22 | 22 |
| （大坟堡至珍珠冲层） | | |
| 香溪群 | 22～621.5 | 599.5 |
| 雷口坡组 | 621.5～792 | 170.5 |
| 嘉陵江组： | | |
| 嘉$_{五}$段 | 792～844 | 52 |
| 嘉$_{四}$段 | 844～975 | 131 |
| 嘉$_{三}$段 | 975～1 081 | 106 |
| （嘉陵江组未完） | | |

由此认为：

第一，经实践证明，在自流井构造顶部嘉$_{三}$层上、中、下三个部位都产气，同时由于构造顶部裂缝发育丰富，磨子井居于构造高点，因此，它的产气位置，有可能是嘉$_{三}$层的上部（当然，不排除中部或下部的气沿裂缝上窜），于是，可确认其井深在1 000米左右。

第二，如果磨子井钻获的气，不是嘉$_{三}$层上部或中部，而是下部的话，那么，磨子井钻完嘉$_{三}$层（从上地层剖面可知），井深约1 080米，所以，再钻深也不会超过这个深度。

为此，推算磨子井的深度，浅者为1 000米左右，深者约1 081米，但作者多赞同前者。

**三、“火井王”及其产气量的推算**

“火井王”——磨子井是当时自贡盐场也是我国最大的一眼气井，日产量高达100万立方米，试问这口井从高产到枯竭究竟产气多少？

“火井王”——磨子井是一眼大型天然气井。现存遗址，构造位置，正位于自流井构造顶部；地理位置，在五星店（北）附近。据传（有多种传说，但此说广传），磨子井由陕商开办，由于地层硬，裂缝大，加之井深，工程耗资甚巨，井主把全部家产都用完了，但此井未“见功”，同时又向亲友借钱开办，债钱也用光了，井仍然未“见功”。最后，只好把家里剩下的唯一财产“石磨子”卖掉，请凿井工人吃一顿饭，饭后，井匠们准备散伙了，大家为感谢主人的厚道，又去井上捣碓，刚踩了几脚，凿穿了嘉$_{三}$主气层。顿时，井内天然气腾空而起，吼声如雷，并发生了大火燃烧，火势凶猛，势不可挡，宛如一座火山爆发，喷起的火焰汇成一巨火龙，高达数十米，当时无法控制，地面上的井架（天车）、碓房设备全部被焚毁。同时，由于火势猛，天然气来不及从井口和寚盆气管排泄，大量的气灌入地皮浅层，在地表打一穴，插一根管子都可以引气烧火煎盐，人们呼为“洞洞火”。气与一些井连通（俗称通腔），使井里的气量猛增而烧大火。在磨子井周围几里之内，形成一片大海，不敢住人点灯，否则就有酿成巨灾的危险。自流井地区因天然气大火燃烧，火光普照，成了不夜城，晚上走路不用灯笼火把，大火燃



烧，无法扑灭，一直烧了很久，闹了许多时候[39]。于1860年（或1861年），人们用了几十床棉絮以泥浆水浸湿，才将磨子井的烈火扑灭（用棉絮浸泥浆水灭火，在盐场是一大发明，并沿袭至今）。据推算，当时磨子井的井口压力100千克/平方厘米左右，产天然气 $100\times10^4$ 立方米/日[32]，实属高产、高压的大气井，无愧有“火井王”之称。至1860年，仍日产量 $16\times10^4$ 立方米左右，不久，因海顺等井先后开办成功，并与磨子井通腔，使该井产气量陡然下降，日产气约60 000立方米；到1876年，李榕看到的磨子井产气量基本稳定，还烧400口旺火（折日产气40 000立方米左右）；1890年后，嘉$_三$层天然气开发进入高潮，沿构造长轴延伸到了郭家坳地区，一批新井钻成投产，又与磨子井通腔，于是，产气量又一次大幅度下降。1930年后，嘉$_三$气层的开发向西延伸到土地坡、东至大坟堡地区。由于井间开采密集。地层压力降低，因此，磨子井的气量再度锐减。到1936年，磨子井日产气仅有4 100立方米（又说5 000立方米、8 000立方米）。据不完全统计，自1860年至1936年间，磨子井先后与新钻气井海顺、海旺、皂角等十余眼井通腔。虽然，磨子井初期，因发生强烈井喷，气对空排放燃烧，致使气量迅减，但是与多井通腔，也是重要原因之一。当然，还有其他原因，如，地质条件等。

关于磨子井的产气量，多年来，作者在前人研究的基础上，经查史、调查、走访了解，获得了较为丰富的资料。现根据其不同时期气量的变化，归纳起来，分别推算为：

1855年至1861年产气量约12.5亿立方米（喷气未被利用，全部对空排放），

1862年至1870年产气量约1.91亿立方米（开始利用煎盐），

1871年至1876年产气量约1.09亿立方米（　　）（　　），

1877年至1890年产气量约1.78亿立方米（　　）（　　），

1891年至1936年产气量约1.67亿立方米（　　）（　　），

磨子井总计累计气量约18.95亿立方米（　　）（　　）。

这个数字偏低，也是较保守的估算，在此有两种情况还要提出来，供研讨。

第一，据老灶师张利合、张树云（他们在盐场整灶，利用瓦斯火长达近50年）等介绍：“磨子井初出大火时，不是1 000口大火，而5 000~6 000口大火，与1960年自$_二$井开始出的大气几乎不相上下。”① 此说，印证了20世纪50年代初，石油部门110专题研究队寻获的史料：“有一口名叫磨子井的气井，当初钻开气层时，火力之大，估计可烧5 000口大火。”[31]那么，一口大火折算多少气？

据井矿工程师熊佐周介绍：“磨子井……当时火出以后就水不济煎，打成一口（井）插了几百亮筒子就露天烧着，租与人家烧，先白烧了3~4个月，谓之试火，然后正式出租……当时火力非常大，一口火要比现在‘四口火’还大，烧时不修灶房，不修锅边，不加火罩，任凭白烧，千斤锅下面的火铺到锅边上要能滴出铁水。”[31]可见，当年一口火之大！若1954年一口火，按日产气80~100立方米计，那么，当时磨子井（及海顺等）一口大火比1954年“四口火还大”，日产气应高达160~200万立方米。

① 作者亲自调查了自流井盐厂老灶师张利合、张树云实供口碑，即活档案材料。




而自二井初期日产气，据测试最高为200万立方米。据此，盐场上的老技师将磨子井与自二井并论，不是没有道理的。但是，为了慎重，在估算磨子井初产时，仍按日产100万立方米计（相当于今天灶上10 000口火）。

第二，磨子井1855年出猛火，日喷气达100万立方米，至1860年，组织群众用棉絮浸水将猛火扑熄后，遂引火上灶熬盐，还日产气16万立方米左右，出现了火多水（卤水）缺的情况，磨子井的气还烧用不完。据说，部分余气仍对空排放，与此同时，有的地方还有洞洞火，不过比初出火时减少了一些。但为了稳妥可靠，在正式推算时，仍按日产气6万立方米计。

推算结果，磨子井从1855年至1936年81年间，累计产气量19亿立方米左右，相当于一个小型气田的藏量。成为我国古代一眼奇井，誉称“古代火井王”，载入史册（自二井自1060年钻出大气，截至1993年累计产气达44亿立方米，堪称“现代火井王”）。

**四、磨子井开凿成功的价值**

磨子井开凿成功，为自流井构造“高点”的确立及其“嘉三”主气层的发现，是地质理论上的一个重大贡献。这对于后来四川各气田尤其川南诸气田的开发，开了先河。同时，由于自流井气田大规模的钻采、天然气新能源大量被用于制盐，从而，为促进自贡盐业的兴起和大发展，起了决定性作用。因此，“火井王——磨子井的凿成，其科学价值重大，意义深远，勿可低估。

（一）构造“高点”的确立

磨子井的凿成，对于构造“高点”的确立，为四川新气田的钻探和发现，捕捉气老虎——高产井，提供了范例。

磨子井“见功”气压之大，产气量之高，在当时（或古代），为我国第一口大火井。并根据现代地质科研证实，此井正处于自流井构造上的“高点”位置。按“背斜论”即由于气、油、水三者比重不同的分异关系，构造顶部有利于气的储藏和富集。因此，如在构造顶部“高点”和沿轴线进行布井，便可获得高产的气流。

由磨子井的开凿成功和自流井气田的开发，人们得出了找气的重要规律——新构造第一批井位的拟定，必须占高点，沿长轴。这条规律的发现和确立，是找气勘探的认识从“经验型”发展到“理论型”的大飞跃。苏联伊万诺夫专家早在50年前讲过“四川的地质工作，应该永远不要忘记自流井”[31]。自流井构造是许多兄弟构造的“模型”，并以指导和应用在四川地区，尤其川南地区气藏的钻探，成效卓著。如，在川南地区打鼓场、长垣坝等八个构造上计14眼井中，“高点”井数占43%；长轴亦占43%，二者合计占了井数的86%。

清代，在自流井构造钻井，首先要由有专门地质知识和钻井经验的人——俗称“山匠”观看“地脉”，俗称“龙脉”[31]。所谓“地脉”或“龙脉”，即系指地下气、卤的来龙去脉，也即地下气、卤埋藏的地质规律。早在一个半世纪以前，我们的先民“已能凭肉眼视察出构造轴线了。旺井集中构造长轴上，这是一个了不起的规律。它对于裂缝性油、气田的重要性，最近几年（指1955年至1957年左右）内才被苏联和美国的地质家所提出”[31]。为此，磨子井开凿成功和沿构造长轴布井的理论规律，我国比苏、美两国要早一个世纪左右。



（二）磨子井的开凿开辟了自流井构造嘉$_{三}$主气层大规模钻采的新纪元

自流井构造，因其气、卤同层的特点，所以，早期在开发卤水的同时，便开采天然气了，可知，该构造天然气开采历史之悠久。不过，在清嘉庆元年（1796年）以前，主要是开采三叠系上统（香溪群）中浅层的天然气（俗称草皮火），井深不等，因地而异，一般钻至700米左右。清道光元年（1821年），钻深约800～900米，开发嘉$_{五}$层的天然气（俗称腰脉火）。清道光中叶（1835年）气井钻探已超过1 000米，并进入嘉$_{三}$主气层，日产天然气达8 000立方米，仅揭开嘉$_{三}$气层开采的序幕，清咸丰五年（1855年）在自流井构造高点，火井王——磨子井钻深1 000米左右，再次揭露嘉$_{三}$主气层（俗称底火或大火），初期日喷气约100万立方米，显示了气量之丰富。自此，为大规模钻采嘉$_{三}$气层进入了一个新的时期。于是，极大地鼓励人们选布新井，不断改进工具，完善工艺，向地下大气藏——嘉$_{三}$主气层进军，到1860年，自流井构造先后钻成15眼大气井，单井平均日产气量约14.3万立方米，开发进入极盛时期。由于嘉$_{三}$主气层的开采，采区迅速扩大，气井由构造顶部沿着轴线两端拓展，向东至大安地区，向西扩展到贡井地区并遍及全构造。

自贡盐场钻出了数千口天然气井，其中以磨子井产气量最大，压力最高，素有“火井王”之称。它的开凿成功，与自贡盐业的兴盛、“川盐济楚”及钻井技术的日益完善密切相关。该井于1855年见功，初期产气量高达100万立方米，到1936年熄灭，累计产气量约19亿立方米。当时，该井钻至1 000米左右，便打开了嘉$_{三}$气层，引发了强烈气喷，同时发生大火燃烧。磨子井的开凿确立了自流井构造地下的“高点”。这是对石油地质理论上的一个重大贡献，为四川勘探和开发气田开了先例。

## 第五节　清代精湛奇绝的采气工艺技术

在我国古代井盐及油气开发史上，天然气开采工艺技术，无疑又是一项重大的科技发明。其采气技术精湛，独具特色，神妙奇绝，堪称举世无双。它在古、近代天然气开采中发挥了巨大的作用，至今仍然具有科技价值、经济价值及实用价值。

我国古代开创的采气技术，却以它独特的工艺，特别是裸（井）眼、敞口、无阻流量开采，实行井内边作业边采气，气水共采的功能，不仅为世界上所首创，而且就是现代气井开采工艺亦是难以做到的。因而，成为我国及世界油气建设开采史上的伟大创举，载入油气开发史册。

我国幅员辽阔，地下蕴藏的天然气十分丰富。先辈们在很早就发现和利用了天然气。四川是在开凿盐井过程中发现了天然气，并把这种天然气井命名为“火井”。天然气名曰“井火”，或简称“火”。我国古代的天然气开采技术，则是从火井采气发轫的，并在长期生产实践不断发展和完善，从而形成了一套完备的采气工艺技术，已见于诸史的记载。

据西晋人张华在《博物志》卷九中就记载有“临邛火井一所”，使用了“执盆盖井上”的采气方法。晋人常璩在《华阳国志·蜀志》里，也记述了古人采集和



储存天然气的方法：临邛县“有火井，夜时光映上昭，民欲其火，先以家火投之，倾许如雷声，火焰出，通耀数十里；以竹筒盛其光藏之，拽行终日不灭也”。关于天然气的开采和输气，从临邛考古发现，也得到了确证。于20世纪90年代初，在邛崃县油榨乡（又名油榨公社）天纲祠遗址即唐时古火井处①，一村民在挖筑路基时，在地下1米左右，掘出石制管道一节，长0.43米，厚0.11米，其形上宽下窄，两端空，中开一槽，宽10厘米，深0.6厘米，首尾有榫，可连接成管道。下面安置石板，石覆其上。据考证鉴定，为输送天然气的石制管道，当地民众俗称“火槽子”。据当地口碑传，天纲祠遗址一带山地中常有石管道发现。这一带是唐代火井兴盛的地区。因之，石制管道与火井有关[22]。由上所述，古代“执盆盖井上”“以竹筒盛其光藏之”“火槽子”即石制管道输气等，虽记载语焉不详，但仍可从中得知，唐代以前，四川临邛地区采集、输送及利用天然气技术初步形成。

到了明代，天然气开采工艺技术有了显著的进步。据明宋应星《天工开物·作咸》中的记载：“以长竹剖开去节，合缝漆布，一头插入井底，其上曲接，以口紧对釜脐，注卤水釜中，只见火意烘烘，水即滚沸。启竹而视，绝无半点焦炭意”（见图8－3）。

明人张瀚在《松窗梦语》卷二一书中，对四川蓬溪一带的火井采气做了简明的记述：“有火井，土人用竹筒引火气煎盐，一井可供十余锅。筒不焦，而所通盐水辍沸。”

从上宋应星的记载及“火井”图看出，长竹“一头插入井底，其上曲接，以口紧对釜脐”的采气及利用煎盐方法，是一眼井的气仅供一口锅，由于气量小，没有采用井口分离装置。但张瀚记述的“一井可供十余锅”（折今约1 000立方米/日），随着天然气流量的增大，气井开采，有可能安有井口装置，将天然气在井口分离输送。这是火井采气工艺上的一大进步。




图8－3　明代采气技术

采自：宋应星《天工开物》卷五

清代火井采气工艺技术，在明代的基础上，并随着自流井气田大规模的开发，三叠系嘉$_{三}$主气层的揭穿，天然气产量的猛增，火井气流量的加大，于是，采气技术亦得到了巨大的发展和日臻完善。主要有独特的井口采气装置；宏大绝妙的输气系统工程；科学而朴实的测试、防爆设施。

## 一、独特的井口采气装置

### ——簾盆

簾盆采气，是古老的自贡盐场人民，在长期的井盐生产和低压天然气开采中的又一项重大发明，并为我国和世界采气史上所独创。这种裸眼、敞口、无阻开采天然气，别具匠心，工艺独特，它在低压气开采中发挥了巨大的作用。据统计，

① 据1979年1月，胡昭曦亲临现场调查，在邛崃今油榨乡一大队三小队，袁天纲（唐时，第一任火井县令）祠遗址尚存，祠内遗存碑石上记有：“自唐时古火井处。”



四川自流井气田仅嘉$_3$气藏用这种独特的装置，已经安全地、有效地开采和利用天然气约170亿立方米，并且至今仍然具有实用价值（见图8－4）。




**图8－4　簾盆外形**

**采自：吴炜《四川盐政史》卷二**

（一）簾盆的起源

明代张瀚《松窗梦语》卷二记载，以“一井（气）可供十余锅”煎盐，推知井口可能有储气、采气、分离简易装置，然后用竹管分气输送到灶上利用。但史籍记载太略，尚不能确认。到了清代，关于簾盆采气的记载史不绝书。为此，簾盆创制时间最晚在清代乾隆年间。

据清乾隆四十二年（1777年），《富顺县志》（卷二）记载：“以竹去节入井中，用泥涂口，家火引之即发”“周围砌灶，盐锅重千斤，嵌灶上煮盐，亘昼夜不熄。”又乾隆约三十年（1765年），开办的老双盛井，已经用了簾盆采气。簾盆规格，其上口圆径1.47米，底口圆径2.10米，高度2.45米。此井地址位于自流井土地坡，于20世纪60年代初仍在生产，后因井内故障未解除停废①。

道光时期（1821—1850），范声山著《花笑庼杂笔》中述道：“用衔竹吸烟，如接水状，引入锅底煮盐，省煤炭，利益厚。甚有一口井接数十竹者，并每竹中间复横嵌竹以接之，烟盛，无不贯透。”严如熤《三省边防备览》（卷十）中也说：“泥封井口，插竹筒导火入灶煮盐。极旺之井售于他井，颇获其利。”王培荀在《听雨楼随笔》（卷六）记述采气、输气装置颇详：“火井昔在临邛，今富顺、荣县（即今自贡盐场）均有。凿深百余丈，或二三百丈，热气涌出，或甚烧屋，此其一变也。制木为盖，覆井口环盖。穿穴不拘数，每穴承以竹笕。每竹笕接处箍以铁，于笕凿口，竖以竹筒。气从笕筒出置锅其上，引以入火，合同而化，充焰蓬勃，隆隆有声，异于常火，铁热而竹不燃。猪脬盛火，可以赠运。”据上述史料，可以得出如下两点：其一，“一口井接数十竹者”。证明已经用了井口装置“制木为盖，

① 20世纪60～80年代初，作者在自流井盐厂工作，并负责管理该厂气卤井钻凿、修治、开采，因而了解这口井的情况。





覆井口环盖"——"火井盖盆"即窨盆。其二，再在"盖盆"圆壁上，"穿穴不拘数，每穴承以竹笕"，并每竹中间复横嵌竹以接之"，即排列组成纵横交错，相互连接的输气管道网。直至灶房"气从笕筒出，置锅其上"，引火煎盐，但熊熊的火焰，"异于常火，铁热而竹不燃"。

清代后期，随着井盐生产的发展，汲卤和采气工艺的完善，为此，在《自流井风物名实说》《自流井记》《四川盐法志》等著述中，对于窨盆的制作、结构、安置及采气有了全面、系统的记载。这在后面各题中还要详述。

由上述史实记载和古代气井遗址（如老双盛井）可证窨盆的创制和起源时间是在清代，并且最迟不晚于清乾隆年间。

（二）窨盆的结构

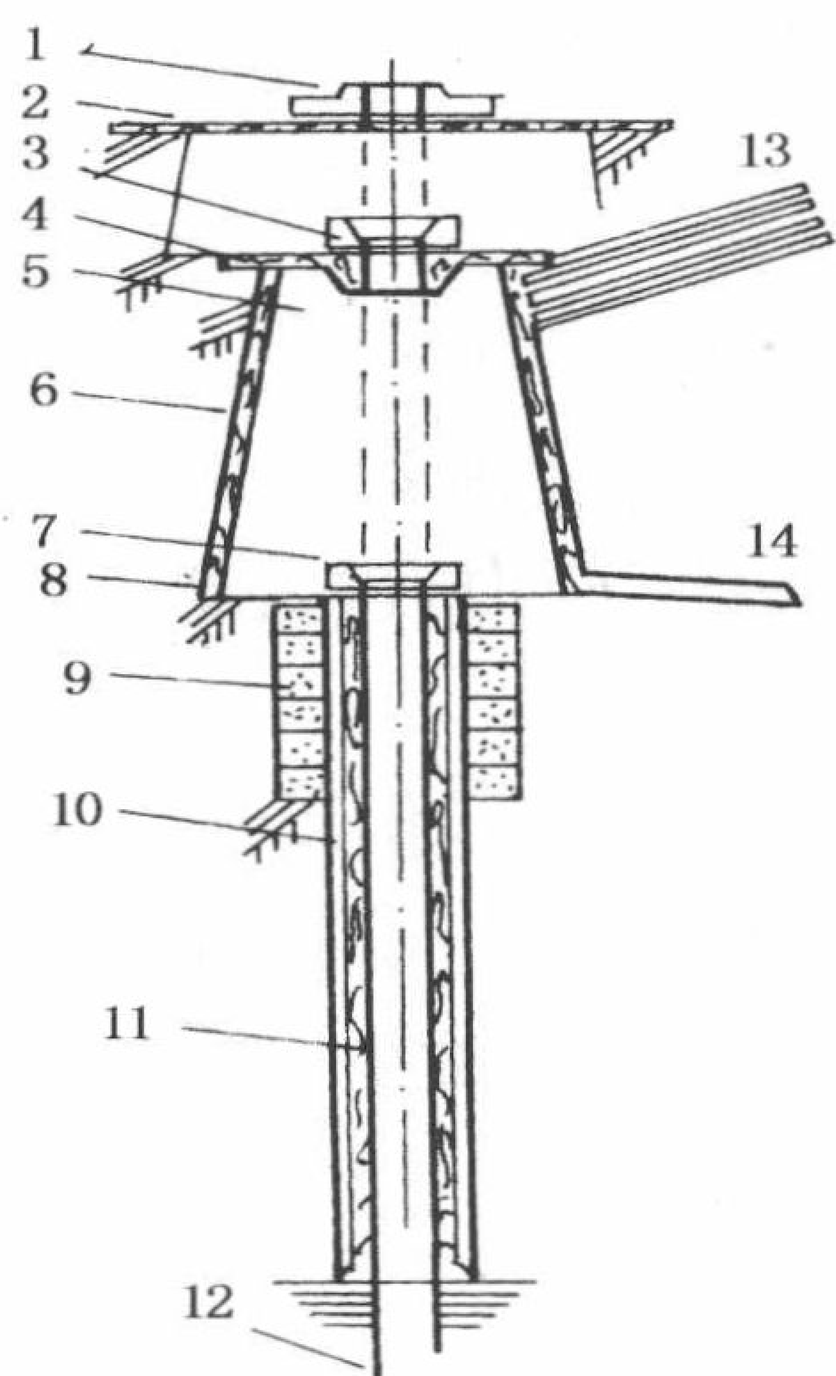
窨盆，又名"盖盆""炕盆""木盆"。清《康熙字典》释："窨"即"空"的意思。窨盆是一个上小、下大、中空（无底）的木制圆桶。它位于井口之上，工作面木楼板之下，这种用于钻井和开采工艺中独特的井口装置，是世界天然气开采史上的伟大创举，并在漫长的钻采过程中，起到了十分重要的作用。

关于窨盆的结构，清人李榕在《三十峰书屋文稿》卷一中，做了详细的记述："火井之发也，覆以木盆，其盆高一丈，径一丈，围三丈，上锐而丰，以束其气。盆上环置笕，引其气以达于盐灶。盆中央仍开一孔径三寸，环以石圈，附以土围，结为井口，井有水筒取之故也。"清四川总督丁宝桢主编的《四川盐法志》卷二对窨盆的结构也作了简明的叙述："凡火井成，井口尚陷地丈许，上置虚底木桶罩之，曰炕盆。桶式下阔而上狭，大小视火力之强弱。经受上覆以木板，中留小窍，上覆片席，席上置木箱一，亦下阔而上狭，与下井口相承。"凡每口井，在钻井时，都要安装窨盆，然后钻井和开采地下气、卤资源。

据自贡盐场气井安置的窨盆和出土的文物可知，所谓窨盆，即是用木板（多为杉木）镶成上大、下小、内空、外箍、内撑的一圆桶。制作时，要求工作精细，每块板面要光滑、伸直、无间隙，无孔穴。它的顶端（上口）为木盖，中央开一圆口，便于空气自动流入窨盆内，及井下作业时工具的出入。窨盆的上部设置有内外（两块）枷枷，位于木盖中部，用于改变天然气流动方向。窨盆侧（偏上）凿孔接出山笕管，出山笕的数量视井内产气量多寡而定。窨盆的中下部位，安有（上下）支撑，使其坚牢。底部一侧开一长方形缺口（俗称"城门洞"），安置阴笕，用于排泄盆内积水。为使窨盆牢固不变形，外圆加竹箍 3～4 道。窨盆制作的大小，根据气井试气后的产量进行设计、制作和安置。

窨盆做成后，安置于井口，并与井口设施构成一个完整的采气、输气系统。整个系统包括：井帽子、木楼板、窨盆盖、倒枷枷、窨盆桶、上碓臼、输气管道、排气烟囱、阴笕、下碓臼、泥土面、石圈子、大口、木柱、井眼（见图 8－5）。






1. 井帽子 2. 木楼板 3. 上碓臼 4. 簷盆盖 5. 倒枷枷 6. 簷盆桶 7. 下碓臼 8. 泥土面 9. 石圈子 10. 大口 11. 木竹 12. 井眼 13. 生产气管 14. 阴笕

图8－5 簷盆的结构

采自：四川石油管理局川西南矿区等《簷盆低压采气机理研究和分析》

由上图看出，簷盆结构与井口有关的部件达14种之多，但其主要结构部件为：

1．簷盆

盆桶是用杉木板镶成，其形呈“截头圆锥”状，是井口采气的主要装置。簷盆设计的高度比下口圆径稍大，下口圆径与上口圆径的比例，一般采用10:8，或10:7为宜。

生产实践证明，天然气从井内喷出时，压力愈大，气柱愈高。因此，簷盆的高度，在采气中起着重要的作用。低压气是敞口生产，盆盖罩着气柱的顶峰，封住气流向外溢出。为此，簷盆高度、锥形的套管出口（大小和长度）及盆顶盖板等，共同协调组成集输气库装置，控制低压气的开采。

2．碓臼底

用硬石凿成，呈正方形，一般边长500毫米，厚400毫米。盆内安有两个碓臼，即分上、下碓臼。

下碓臼底，中心开一圆孔，此孔为上大、下小（与套管内径同）的漏斗形。臼底扩大同心圆，即扩成比套管外径略大2毫米，深50毫米的一个印盒，并填油灰，套在管套顶端。安装时，先在石圈子及索圈面上铺一层油灰，然后扣上，周围填上，要让它露出土面约300毫米。碓臼内也凿成锥度形，既能承接工具的出入，又利于井内天然气的扩散。

上碓臼，中心圆孔也是呈漏斗形，碓臼不固定，可以移动。它特有调配空气进入，簷盆及方便工具入井的功用。

3．阴笕

在井口地势较低处，挖一条由内向外倾斜的阴沟，俗称阴笕。又在阴沟里安置一根通节内空的楠竹，周围用石块或砖块垫塞稳固。再取篾索撕散成片装入筒内塞紧，同时用炭渣堆塞在篾片四周，外面还砌一层约1～2厘米厚的炭渣，然后簷上筲箕，并用盐水泥巴将上面和左右两侧糊严。于是，阴笕既可排出簷盆内的来





水（尤其夏季洪水来临，可避免大水流入窟盆，灌入井内），以保安全生产，又能配入少量空气，有利于天然气的燃烧，谓之一举两得。

4．环形枷枷（又名倒枷枷）

枷枷同盆木盖一起制作，即直接生在盖板上，处于盖板的中间部位，木宽约7厘米，厚7厘米（外圆切角，除去46毫米，斜截至盖板）。盆内安设枷枷，有利于改变气流方向，同时使混合气流（天然气和空气）在盖板下回旋进入输气管道。

（三）窟盆的安装

窟盆位于工匠作业面之下，井口表套之上，它是古、近代开采低压气，水气兼采、调配空气、集输天然气等一套独特的井口位置。为保护气、卤井正常生产，钻采作业同时并行，为此，凡每口气井（包括盐井），必须安装窟盆。关于窟盆安装的步骤和要求如下：

1．窟盆安装的步骤

第一，安放（下）碓臼底。当木柱（表层木制套管）下好后，在木柱的顶端安放一个硬石凿成的碓臼底。

第二，挖圆井和圆槽。以木柱（即井口）为圆心，挖一个直径比窟盆底口大0.3米左右，深度比窟盆高度大1米左右的圆井，井底再挖一条与窟盆底口外径相同的圆槽，槽底夯实、整平，便于槽面安置窟盆。但也有的井无须挖此槽，直接将窟盆底坐在圆井平面上。

第三，挖阴沟，安窟盆。在井口地势较低的地方，另挖一阴沟（俗名“阴笕”）接通圆井，沟底与井底相平，且由内向外有一定的斜度。此后，便将窟盆下入圆井或圆槽中坐正，并使窟盆底一侧的开口（俗称“城门洞”）正对着“阴笕”，以便排出窟盆内外的积水。窟盆外壁糊一层盐水泥巴，内壁上先用油灰（桐油与石灰拌成）补缝堵穴，再用盐水、泥土及牛粪三者拌混成泥浆，涂刷一层，以防腐蚀、地表水渗透及气泄漏。随即在窟盆底外围先填上约20厘米厚的炭渣，或在窟盆内底部垫上一层炭渣，以便滤水。然后用碎土填实，至盆上口平齐。

第四，排列安置“出山笕”，即输气管道。窟盆安装完，便可在井场地势较高的方向（即对着灶房）排列安置竹笕管，俗称“出山笕”。安笕的数量，视井内产气量而定。同时要求笕口与窟盆内壁平齐，且光滑。每根笕管内径大小基本相同，使其输出的气量均匀相等。

第五，窟木盖及铺楼板。所谓“窟木盖”，即是在窟盆上口，盖上一层木板，封住气顶，使其不向外移，因此，又称“窟盆盖”。同时，在木盖的中央开一圆孔，上置一石制“碓臼”（即名“上碓臼底”）。距盆盖以上0.7～1.0米左右，再铺一层木板，人称“铺楼板”，即井口工匠作业平台，中间仍开一圆孔，上置一木制或石制的井帽子，以便工具下上、入出畅通无阻。

2．窟盆安装的要求

由于各个气井产气量大小不同，因而窟盆的规格尺寸也不同。一般产量高的气井，井口压力较高，窟盆制作应大些（包括上口、下口、高度尺寸、计算的容积），否则天然气由井筒进入窟盆里不能得到充分的扩散、膨胀及降压，气流就会直接从井口喷出，窟盆容纳不了气，以致失去了窟盆采气的作用。反之，如气井产



量低，空气进入簸盆内过量，并与天然气混合比例不当，不仅使天然气不能得到充分的燃烧，造成资源极大的浪费，反而会发生天然气“爆炸”事故（俗称“打炮”）。同时，簸盆安装不当，还将给井下作业和生产带来后患，甚至造成生产和经济上的重大损失。因此，气井安装簸盆，一定要符合生产要求，这些要求主要有：

第一，簸盆设制的规格。簸盆制作的大小与凿井的性质有关，一般气井较大，卤井较小（因气、卤同层，卤井也产气，卤气同采）。为此，开凿卤井时，先作一个小簸盆，其规格，上口圆径约0.8米，下口圆径1.2米，高1.7米。如发现了大量的天然气，则重新加大簸盆。

古老的自贡盐场，前人在长期生产实践中，研究总结得出了十分宝贵的经验（规范）数据：即煎盐95口火左右的井（折今日产气9 500立方米左右），盆下口直径为2.5米；煎盐180口火左右的井（折今日产气量18 000立方米左右），下口直径为3米；煎盐270口火左右的井，下口直径要3.3米；煎盐570口火左右的井，则需4.6米。一般簸盆上口圆径3.96米，下口圆径4.33米，高度4.50米，可容纳200～400口火（折今日产气20 000～40 000立方米天然气）。

第二，“三点”连接成一垂直线。在安装簸盆时，井帽子，上碓臼及下碓底的中心点（圆心），即“三点”连接成一垂直线。其圆径大小，以井径为准。井口中心线垂直，凿井也垂直。于是，可预防在钻井中井身发生倾斜，凿井质量高。同时，也便于钻井、修井及提捞生产中工具入出畅通，确保井下作业的安全。

第三，簸盆排水防洪。簸盆有多种功能，其中排水防洪就是功用之一。冬天枯水季节，簸盆内排水问题不大，但到了夏季洪水时期，如一遇大雨、暴雨，于是，大量的地表水渗入地下，流入簸盆内，若积水过多排不完，将会灌入井里，湮灭天然气，造成产气量大幅度下降，乃至气井报废，这在自贡盐场历史上有不少先例，如大型气井源流井，日产天然气达71 000立方米，双海与龙源两井，每天共产天然气约50 000立方米，这些井曾经先后都被洪水淹灭，产气量迅速下降，之后逐渐废弃。因此，气井排水防洪，是簸盆在设计、制作和安装时一个很重要的方面。

一是簸盆底部一侧设制了一长方形的开口（俗名“城门洞”），在安装时，此口一定要对正“阴笕”沟。

二是“阴沟”在开挖和修筑时，由井口朝外，要形成一定的斜度（约10～15度左右）。

三是“竹笕”是簸盆排水的通道，制作要符合要求，不能过分塞得太紧和太死，影响排水效果。

（四）簸盆采气的科技原理

我国古代开凿盐井技术，天然气新能源的利用，走在世界前列。在钻井、汲卤、采气、综合利用等方面，在世界上也是首创的，尤其是精湛的钻采工艺技术，至今为中外专家、学者所叹服。

1. 簸盆采气科技原理的研究和分析

簸盆是一种多功能低压采气装置。它既能储气，又能降压，更能使气水分离，以达到井内气卤共采的目的。因而，人们称之为“储气柜”“降压装置”“气水分

离器”。它是我国古代人民，在开采油气史上又一项重大的科技创造。

但是，长期以来，对这项重大成果——簸盆的机理众说纷纭，缺乏科学的分析和研究，也没有进行系统的测试。由于历史的原因和科技水平的限制，簸盆采气的科技原理，仅作了一些笼统的定性分析，没有进行定量分析。为探索和研究古代簸盆采气的科技原理，于 1986 年 7 月至当年 11 月间，由自贡轻工局、川西南矿区、贡井盐厂及自贡盐业历史博物馆共同协作，选择自贡著名的天然气井——东源井进行科技实验。系统地搜集了该井钻井、地质及开采史料，同时对井口气流量、输气管道、天然气燃烧、簸盆气压等进行现场测试，获得了上万个数据，并通过电子计算机处理和理论计算，已揭示了这一传统采气工艺技术的奥秘。

簸盆在天然气开采中具有降压、安全、气水分离、排液、配风、方便井下作业等多种用途，保证了整个天然气生产系统进行。簸盆采气，经现代科学研究、分析证实，其科技原理的内涵表述如下：

当天然气由地层到井筒上升，进入簸盆后，体积骤然膨胀，并迅速降压。随之，天然气在簸盆内向四周旋流。这时，由于灶房位置高于井口地面，输气管道从簸盆到灶房的方位，自然形成了由下而上的斜度。天然气和空气的密度不同引起压力差，迫使在簸盆周围旋流的天然气因压力差流入输气管内。地面的空气亦因此而从上碓臼进入簸盆，避免了天然气从井口逸出。随着灶房点火燃烧，使气体体积急剧膨胀，造成更大的负压（低于四周气压力），产生了强大的抽吸力，加速了气体流动速度。空气从上碓臼口进入簸盆的量也增加，并在簸盆中与天然气混合，形成了强大的旋转状的气流，进入输气管道，源源不断地送往灶房燃烧。而强大的气流使能量转换，动能增大，压能减小，这些都在簸盆中出现了负压差因素。负压差的存在，使天然气从井筒更能通畅地流入簸盆，同时，配入足量的空气，并保证了天然气不能从井口溢出地面，以达到簸盆采气的最佳效果[40]。

2. 簸盆中有负压差的存在——簸盆采气的基本原理

簸盆结构简单，但是设计精巧，功能奇特，是古、近代采集、储输天然气绝妙的装置。采用现代的科学方法和测试手段证明簸盆中有负压差的存在——揭示了簸盆采气的科学原理。并根据现场测试资料和理论计算，也得到了确证和定论，实测记录如下：

测试日期：1986 年 8 月 11 日

簸盆温度：29 ℃

井口压力：727.6 毫米汞柱，即 0.957 大气压，或 $9.699\times10^4$ 帕

关于盆中测压资料，分测点号、位置（深度）、汞柱差、压差见表 8－4。



表8－4　窜盆实测压力记录

| 测点号 | 位置（米） | 汞柱差（毫米） | 压差（帕） | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 盆顶0 | 0 | 0 | |
| 2 | 2 | －2 | －19.62 | |
| 3 | 3.2 | －4 | －39.24 | |
| 4 | 3.81 | 0 | 0 | |
| 5 | 7.45 | +6 | +58.86 | |
| 6 | 分配箱支管闸门处 | －1 折算后为 －6 | －9.81<br>－49.05 | 高出盆顶2.6米 |

采自：四川石油局川西南矿区等《窜盆低压采气机理研究和分析》

由上表实测压力可知，窜盆中（包括管道内），实属存在负压差，即低于盆顶的常压。在盆内负压差最大值为4毫米汞柱（即压差为－39.24帕）。管道内侧更低。在分配箱支管闸门处，高出盆顶2.6米，实测得静压－1毫米汞柱，折算到盆顶高度，负压差为6毫米汞柱（－49.05帕）。于是，井筒中的天然气和从上碓臼进入的空气在盆中混合后，源源不断地流向管道和输送灶房，形成负压差的主要因素：一是混合气和空气的密度差：二是由于气体的燃烧，高温膨胀形成强大的上升抽吸（气流）的力；三是混合气在盆内的快速旋流，因而，保证了盆采气的正常工作，它的采气科技原理见图8－6。

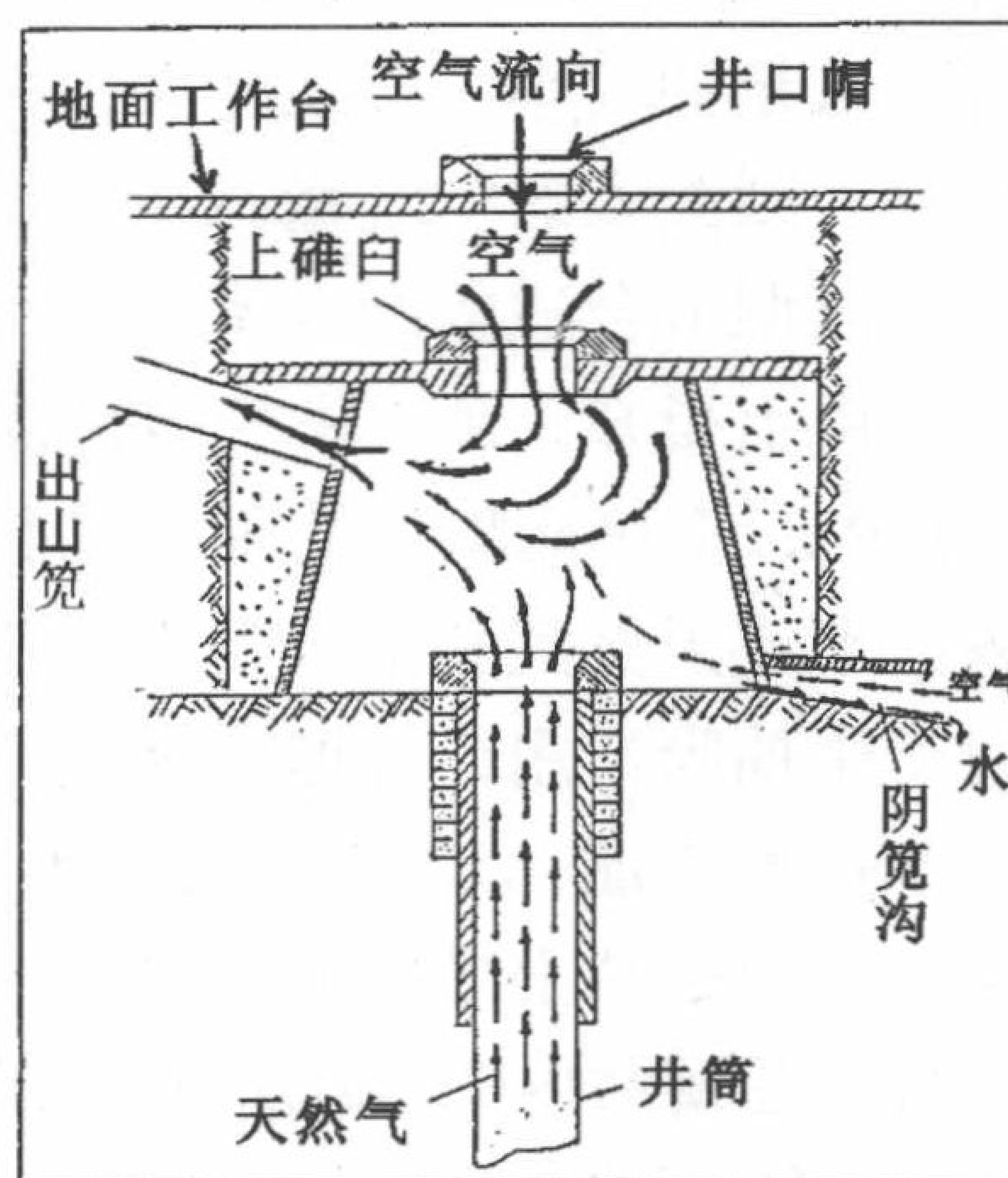



图8－6　窜盆采气科技原理

采自：四川石油管理局川西南矿区等《窜盆低压采气机理研究和分析》

3. 盆内进入的空气量与上碓臼直径的关系——窜盆"配风"是井口采气的重要组成部分

利用天然气热能煎盐，必须加入空气（盐场工人俗称"配风"），即天然气与空气按比例的混合①。古人创造了窜盆开采天然气，同时又"配风"（加入空气），做到了天然气在燃烧前，预先同空气混合②，保证了天然气能够充分的燃烧，极大地提高了热效率。从现代的科学观点来看，这种燃烧方式都是较先进的，为此，窜盆"配风"是井口采气工艺的重要组成部分。

窜盆中空气的进入量与上碓臼直径大小有密切关系。根据测试便知，第一次测试，于1986年8月12日，当气井日产天然气为27 718立方米时，井口上碓臼每日空气进入量27 989立方米，混合气总计为55 707立方米，其中天然气含量为

① 理论上1立方米天然气完全燃烧时，需要供给空气9.52立方米，即约9.5:1.0。

② 窜盆中的天然气与空气混合，这是采气中配入的空气。此后，在输气过程中，还要加入空气，即"配风"。

49.8%。第二次测试，于10月25日，先测混合气中的氧气含量，测得氧的含量为9.6%。当时每天混合气流量为50 000立方米，由此计算得空气的进入量为：

$$\frac{20.95}{9.6}=\frac{50\,000}{Q_{空}},$$

$$故\ Q_{空}=22\,912\ 立方米（每日流入量），$$

$$Q_{天然气}=27\,088\ 立方米（每日产气量），$$

则天然气含量为54%。

1986年10月25日，再用“S”型皮托管配合Wy－200型微差压力计，实测空气进入量，由于测试要求，用一个长1.8米，平均内径87毫米的竹筒，插入上碓臼口内，并密封其外围。根据测得的数据和计算，则得每日流入空气量4 989立方米。这时，配入的空气量比正常条件下显著减少，研究其原因，则是测试管径小和管长导致的。同时，在测试中还发现两台计量格子数也明显下降，簷盆内的“隆隆”响声又突然变小。由此说明簷盆顶部的上碓臼的直径大小是直接关系到空气配入量的大小，直径越大，则配入空气量越大，簷盆内“隆隆”的响声也越大；反之，则配入的空气量减少。根据井灶上的需要，工人一般采用改变上碓臼的孔径，以调节合适的配风量。

由上得知，簷盆采气的科技原理，是它利用了负压差将井下的低压天然气引入簷盆内，不仅能阻止低压气向上井口外溢，而且还引入大量的地面空气倒流入簷盆内，形成天然气和空气自然的混合再输出至灶房内燃烧煎盐。又靠着混合气燃烧时产生抽吸作用，加速混合气的流动速度，在簷盆内形成了强大的气流。因此，进一步产生压能向动能转化，使天然气更好地从井筒中产出，和进入的空气混合。空气主要是从上碓臼流入簷盆，阴笕仅能进入少量的空气。总之，簷盆采气的科技原理，是簷盆内有负压差的存在，以此达到采、储、排气的全过程。

（五）簷盆的多功能

根据古、近代生产实践证明，加现代科学的研究、分析，不但揭示了簷盆采气的科技原理，同时还进一步明确了它的多功能。概括起来有五方面，即降压；分离气水和排液；防止中毒及安全操作；配合空气，提高天然气热值利用；可边采气边汲卤或井下作业，系十分独特的井口装置。现分述如下：

1. 有“降压”的功能

簷盆位于地表操作面之下，并与地面空气是联通的。天然气由地层裂缝产出，沿着井筒上升，经下碓臼，再进入簷盆大容器内，这时，气体的体积迅速膨胀、扩散，随之压力降低。因系天然气为裸眼、敞口、无阻开采，当天然气量较大时，井口仍有一定的静压。所以，天然气进入簷盆后，便立即与周围的大气压平衡，这样就避免了天然气的承压开采和输送。这种自然降压并与大气压平衡，省去了开采技术中一系列的麻烦，便可把天然气排入管道（出山笕）。根据天然气比重轻的特性，“笕火利于上引”的原理，输往地处高位的灶房煎盐。

2. 有“分离气水和排液”的功能

在天然气井中，多为气、卤共采井。当地层中卤水流入井筒中的数量增加，液面（即水柱）升高，淹过气层，且液柱压力大于气层的压力时，天然气就停止



喷出，暂贮存在岩层裂缝中。反之，如若井内液柱下降低于气层之下，或液柱压小于气层压力时，天然气便继续喷出。所以，不少气、卤同产井往往是一段时间汲卤，一段时间产气，或是一边汲卤一边产气，即气、卤兼采。这种作业称之“排卤采气”。如，自贡盐场的东源井，在一般情况下，当井内液柱升到40米左右时，就不能产气。若液柱降到20米左右，就产气正常。故该井采用“排水采气”作业，保持了高产、稳产长达100余年之久，至今还在生产，成为自贡一眼奇井。

天然气喷出井口时，常常带有卤水，同时天然气本身亦含有一定的水分。在一个大气压条件下，天然气温度为35 ℃时，每1立方米天然气含水约40克。天然气上升进入簾盆中，压力降低，又因气体膨胀而降温，水分便凝析脱出。东源井盆内按年平均温度18 ℃计算，则1立方米天然气含水量为15克，这样，每1立方米气就要析出凝析水25克。按该井日产气量27 718立方米计算，于是，仅天然气中全天可析出水量为0.639吨。此外，输气管道中还有进一步析出的水以及盐井在汲卤生产中常有漏、溢的水，这些水在簾盆中经重力分离，集存在簾盆底侧，沿着阴笕排出，从而，保证作业面的正常工作，同时，提高了天然气燃烧热效率的利用。

3. “防止有毒气体中毒”的功能

气井中的天然气，往往含有硫化氢、一氧化碳等有毒气体。按规定，空气中允许 $H_2S$ 最高浓度为0.01毫克/立方米，而东源井天然气中含 $H_2S$ 为11.59克/立方米，已高出允许含量的近100万倍。如果天然气从井口四溢，闻其臭味，容易引起中毒，乃至窒息，工匠无法在井口正常作业。而簾盆则有“防止有毒气体中毒”的功能。

簾盆置于地表之下，其上侧安有输气管道——出山笕（又名“簾盆笕”），有的还安有放喷管道。这些管道的出口均高出井口地表数米至数十米。灶上利用天然气燃烧煎盐时，借助于燃烧的扯吸力，使簾盆中的天然气源源不断地通过输气管道供给。这就避免了天然气四溢或喷出井口地面，如气量过大，灶上制盐用不完时，则随即便可打开放喷管道上的木制闸门，使多余的气暂行对空排放。若灶上检修，可临时停止烧气。因灶房的烟囱和放喷管道口都比井口地表高 $H$（米），在井口同一平面上，一点的压力比二点、三点要高，管道口越高，$H$ 越大，则一点与二点、三点的压差（$\Delta p$）也越大（见图8－7）。如，东源井的灶房比簾盆高出6.9米。相反，二点的压力比一点的压力要低15.2帕（压差）。在压力差的作用下，所以，混合气体只能沿着输气管道和放喷管道流动，而不从井口溢出，这样就保证了地面井口人员的安全和正常工作。根据盆顶部取空气气样分析，有毒气体硫化氢（$H_2S$）含量为零，证明了簾盆采气能有效地防止毒气中毒的功能。

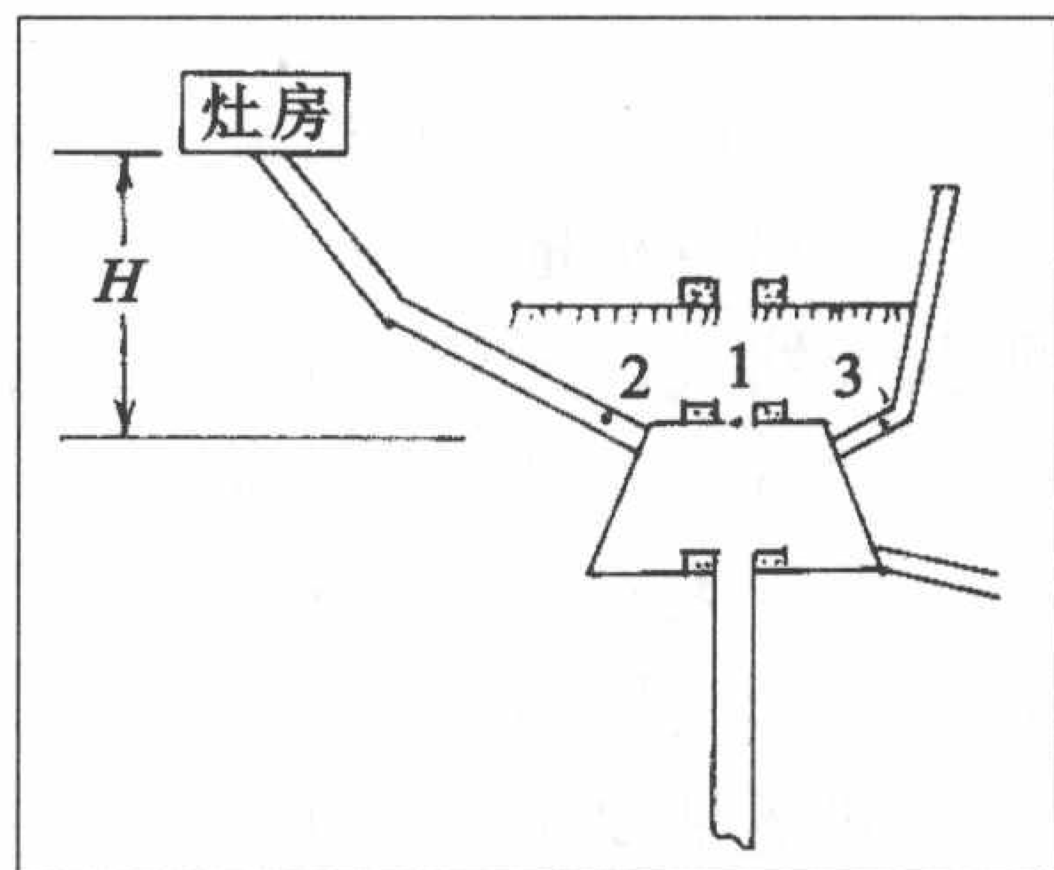



图8－7　灶房与簾盆保持一定的高差以防止中毒

采自：四川石油管理局川西南矿区等《簾盆低压采气机理研究和分析》

4. 有“配入空气，提高天然气热值利用”的功能

天然气的燃烧，是靠空气中的氧助燃，发生了化学反应的过程，只有充分燃烧，才能提高燃烧气的热能，其化学反应式为：



$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} CO_2 + 2H_2O。$$

根据天然气的性质，要充分燃烧，天然气与空气混合的比例为1.0∶9.5。在混合气中，天然气占总体15%以上时，才能正常燃烧。占5%～15%，点火就发生爆炸，也是充分燃烧的过程。天然气爆炸在一瞬间，便产生高温、高压，同时发出霹雳般的巨声，具有很大的破坏性。即是在常压下爆炸，也可产生6～8千克/平方厘米的压力。所以，天然气的合理燃烧，必须配适当比例的空气才能实现。簸盆特有开采天然气，又能配入空气的功能。它不是密封的，在顶部有开口，底部一侧有阴笕，上下都有空气的入口。空气进入簸盆内与天然气混合，形成混合一同流向输气管道直至灶房煎盐。根据现场测试证明，东源井的燃烧气中含天然气49.8%[40]，载福井燃烧气中含天然气40%[31]，说明簸盆配气起到了很好的作用。

关于空气的主要来源，是从簸盆顶部上碓臼进入簸盆内的。用纸条放入上碓臼口（上口直径为60厘米，下口直径为40厘米）测试，立刻被一股强劲的气流，以旋转流动的方式，急速地带到输气管道去。簸盆中还发出“轰轰”的气流响声。由此证实：大量的空气从上碓臼进入簸盆与天然气混合。空气另一个来源，是簸盆底侧的“阴笕”。但用仪器测试，好像无空气进入——感觉不到，测试不出。这亦说明，簸盆中配入的空气几乎全部是从碓臼进入，阴笕主要是起排水作用，或进入很微量的空气，即为空气次要的来源。为此，空气是燃烧中不可缺少的重要组成部分。

5. 具有“气、水兼采”的功能——边采气边汲卤或井下作业

四川自贡地区的地下气、卤资源，往往是同贮共生。因此，在钻凿盐井时，既获天然气，又获卤水，人们称这种井为“气、卤井”，或名“水、火井”。簸盆特有“气、水兼采”的功能，使地下气、卤资源得到充分的开采和利用。

由于天然气从井筒上升，再经下碓臼进入盆内即与空气汇集混合，并通过输气管道送至灶房，它不会从井口直接冒出地面，所以，能起到边采气边汲卤的作用。即便是要进行井下作业，如，加深井、修井、淘井等都可照样正常生产——边井下作业，边采气、或汲卤，不影响生产。但在现代钻井中，要做到边钻井，边采气也是十分困难和复杂的，至今尚未能圆满的解决。现代钻井中往往靠泥浆或清水压井方能进行井下作业。这对地层压力很低，不到几个大气压的井是十分不利的，常常不是发生井漏，就是把气层压死。簸盆井口采气装置确是使这个问题迎刃而解，能充分开采和利用气、卤资源，具有高效、经济、合理的效果。

（六）簸盆采气的现实意义

古老的簸盆在开发低压天然气中发挥了重要作用。但它的优越性至今仍放出光彩。自贡地区迄今还在采用簸盆井口装置，敞口、无阻开采地下深处的低压气，每年开采出约8 000万立方米的天然气，为自贡的盐业生产和经济建设作出了重大贡献[40]。

同时，自贡及其附近一些地区，老气田多、浅气层多。这些气田根据簸盆的科



技原理，结合现代采气工艺，加以引用和借鉴，把有些枯竭井、停产井恢复生产，可以大大提高老气田的采收率。而这些尾气的储量或称非工业性储量（即非常规开采的储量）往往大于压降储量。如自流井气田嘉$_三$气藏累计采气量约为172亿立方米，其中，常规开采储量约为60亿立方米，非常规开采储量（低压产量或二次采气量）约112亿立方米。说明非常规开采的储量资源是巨大的。它对就地利用，经济意义也是很大的。开采尾气，关键在于敞口生产，应用簾盆采气原理，并结合现代工艺技术，加以发展和提高，使其更加科学、合理和实用。所以簾盆采气技术，仍有很大的潜力，使其发扬光大，能做出新的贡献[41]。

## 二、宏大妙绝的输气系统工程

### ——集输气笕①的排列和安置

四川自流井大型气田开发后，气井星罗棋布。当时，在没有无缝钢管的情况下，人们创造性地用竹、木为集输天然气，能在外不浸水，内不泄气的密封状态下，安全地和成功地将天然气畅通无阻地输送到灶房煎盐，这是一项宏大妙绝的输气系统工程。

天然气是一种易燃、易爆、易中毒的气体。在输送过程中，一是技术要求高，二是安全特别重要。为此，天然气的集输作业，是由专门工匠进行的。这种工匠盐场称为“灶师”，俗名“灶头”，或曰“灶管事”。当气井钻出天然气，并经过测试（即试气）以后，灶师便根据测试结果，即气井产气量的大小，然后计划建灶座数，设计排列和安置火笕，以便将天然气输送至生产现场。

### （一）输气笕管排列和安置的方法

古代的天然气汇输，是采用一系列竹笕（俗名“火笕”，又名“气笕”）与木制圆桶（储配气用）相连接而成——输气火笕的始端插接在簾盆上；末端则连接各个火灶的燃烧器；其间，视其气量大小及配气的需要，又分别连接一些名称各异，数量不等的木桶与火笕。关于输气笕管的排列和安置的方法，史实对此有详尽的描述：

“于井下置木盆（即簾盆），上小、下大、中通。于盆之上沿壁排置竹笕，务与簾盆边齐，有数根或数十根者。覆加枕木，并盖木板，涂泥使用，俾与地平。中有一孔，与井口大小相等，以备汲卤之用。火气上腾，聚于桶内。受上面空气之压迫，各枧又复空气通，有吸力，其气即随笕而出。如火力甚旺，又于各枧之头再置以簾盆，名出山盆。形与井口盆等，不过较小耳。又安枧，视其火力强弱以定安枧多寡。如树枝由干发杈，由杈生枝。每枧之末即为一灶，又名火圈。枧头装以铁管，入火坛子内。火坛子置于灶中。灶面圆口较锅略小，外立枕子三个，用以垫锅。火由坛出，燃烧锅底。惟修建灶房，地势须高于井地，使火气由下而上，若平或低则不能过矣。”[42]“由簾盆排至出山桶，名曰一栋笕；再由出山桶排至马门桶，名曰二栋笕；由马门桶排到腰桶，名曰三栋笕。”簾盆是用穿枋料制成，如圆桶状。下有罗盘石垫底，石上正中井口有碓臼底，石下有阴枧，盆内用盘衬撑着，外箍篾。地面上有井帽子、出山、马门、腰桶，都是用桶子料（一般杉木）

---

①　笕与“枧”字通用，即一种竹制输送天然气的管道。



制成，也都是上小下大的圆桶状，都没有底，上盖木盖，不过大小各不同。接枧处临时锯去，各枧各桶，外面都用卤灰等包严埋在地下”[43]（见图8－8）。

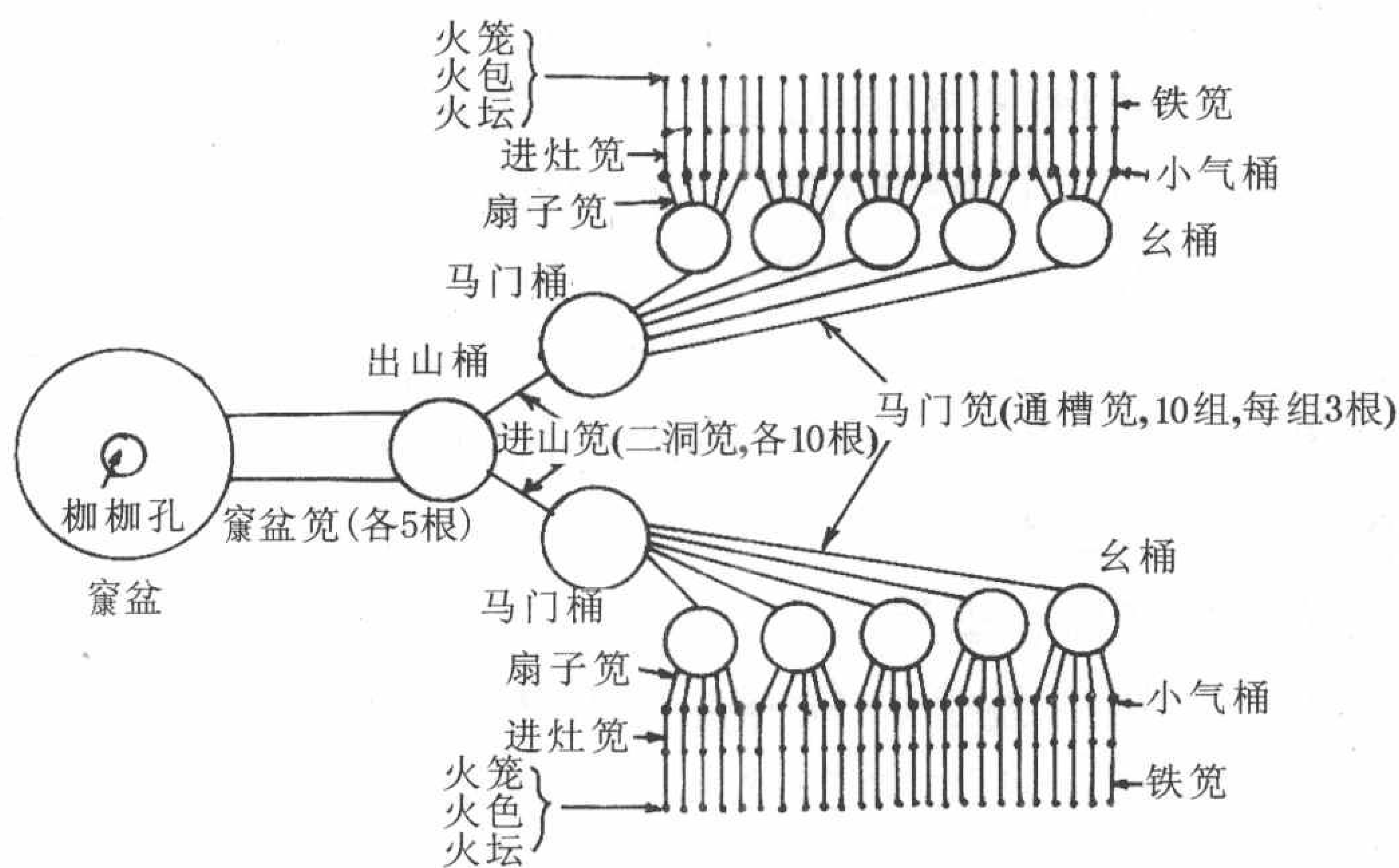



**图8－8 气枧的排列和安置**

**采自：自流井盐厂编《自流井盐厂志》**

由此可见，我国早期的采气工艺技术，实施的减压输送，多级分流和多级配气的方法。其基本方法是：用窝盆配气，又以出山桶、马门桶、幺（腰）桶、小气桶减压分流气。各桶之间用楠竹笕管连接，由于天然气比重轻，是一种向上蒸腾的流体。因此，气笕的排放和安置应以井口为圆心，按一定向上的坡度（一般盆至马门桶为4～5度的仰角；马门桶至灶房增大为9～15度的仰角），呈扇形向各火灶扩展，并将各灶基限制在一条（火膛中）线上，使其与井口保持相等的距离。但每座灶位无法与口井保持同等距离，则设置同径的烟囱，相距井口远近来决定烟囱的高低，可使各灶所得相等的气压和相同的气量。同时，又在各气笕沿线安置各级分配气桶，以调节天然气的流量及配气量，以达到输送天然气预期目的，取得理想效果。

关于气笕排列的安置的程序——多极分流和配气方法：即从窝盆到出山桶的笕名为窝盆笕，即为一极分配桶；出山桶到马门桶的笕名为出山笕，或称“二洞笕”，一个出山桶配二个马门桶，即为二级分配桶；马门桶到幺（桶）的笕名为马门笕，或曰“三洞笕”，一个马门桶配桶的个数，视产气量而定，一般为五个，即为三级分配桶；幺桶到小气的笕名为扇子笕。一个幺桶配五个小气桶，一个小气桶供一座灶，即为四级分配桶。由小气桶输气上灶的笕名为进灶笕，此笕再连接铁笕输气上灶，并连通“火坛子”“火包”“火笼”，即可点火煎盐。为了安全，气桶、火笕一般用咸泥土掩埋。

由于各气井产气量大小不一，建灶座数及所处地形条件也不同，所以，各级木桶的安置和气笕排放也有差异。有的井在“出山桶”与“马门桶’之间还加一级“汇门桶”，或“幺桶”与“马门桶”之间再加一级幺马门桶，以增加一级或二级配气和减压作用。也有的井则将“马门桶”与“幺桶”合为一桶，又减少一级分配桶。总之，安置气桶和排放火笕级数的多少，根据各井灶的需要和具体条



件而定。

火笕除进灶笕后为铁笕外，其他各段均为竹制。各级分配桶一般为木制（其中“小气桶”用7匹青瓦搭成），形如簷盆，逐汲缩小（从出山桶到幺桶，一个比一个小），上口加盖，但中央无孔，与盆略异。“出山桶”下底安一个竹笕，并带弯管通入阴沟，俗称“倒笕”，以便将渗入桶内的水及桶内气流分离出的水排入阴沟。同时笕内弯管处贮水，防止空气进入桶内。

煎盐灶房，一般建在气井附近。为保安全，灶房与井相隔一定的距离，且位置高于井口，火笕沿上坡由井口向灶房排列。各级分配气桶、输气笕管，一般都用咸土泥掩埋，不露出地表。

（二）输气系统工程安装的技术要求

这项工程的安装，工作十分复杂，技术要求高，归纳起来，主要技术要求有以下五点：

第一，各级气桶及火笕的安装地位，由下而上逐级升高。上升的坡度盐场工匠灶师称之“水法”，即火笕长一丈，末端升高一寸（约4.0厘米）为一分水。水法要适当，既不能过大，大了不安全；小了火燃无力。一般以7～8分水为宜（约4～15度的仰角）。

第二，进笕和出笕要分层排列。进笕与出笕不宜排在一条直线上，应按分层排列，致使配气均匀，燃烧合理。其排列方式有：三根笕排式∴；四根笕排式∷；五根笕排式⁙；七根笕排式⣷或⢿；八根笕排式⣿等各种形式。

第三，一根进笕最多只能配以二根出笕，即一般采用“一冲二的方式”扩增火笕。如簷盆笕10根，出山笕则不能超过20根。

第四，火笕排列沿线要伸直。进笕和出笕排列方向沿线尽可能减少弯曲处，或弯曲度不宜过大，使其伸直，减少阻力，以保证气流畅通，分气均匀。同时，“出山笕”安设宜长不宜短。长些便于在“出山桶”旁测试，放空排气，或遇天然气发生“爆炸”（俗称“打炮”）事故时，不致影响井口的安全和作业。

第五，火笕和气桶的防腐及气水渗漏。各级气桶内壁和木盖上平抹厚约24毫米的盐水泥，外部包一层盐水泥。并在包层泥上再撒一层晒干的盐水泥粉。气桶内外保护，可防腐蚀，避免气水渗漏及干裂。火笕外部亦包一层盐水泥和在湿泥上撒一层干的盐水泥粉，起到保护作用。最后将气桶和火笕再用泥土掩埋于地下，地面用石灰混合盐水泥抹平，以防止雨水渗入，使桶、笕受潮而损坏。

（三）输气系统的功用

天然气沿井筒上升进入簷盆，仅是总的分流和配气。从簷盆到灶房沿线，必须经过多级分流和配气，方能达到输送安全，配气均匀，合理利用的目的。为此，输气系统则具有独立的、特殊的功能和用途。这些功用是：

第一，具有阀门开关的功用。如因某口盐锅的更换，灶洞的检修等，暂不用气时，就将小气桶内进笕口用盐水泥巴堵严便可。若某条马门笕要拆换，或某个灶基停烧，就把有关的“马门桶”内的进笕口用盐水泥巴封住即行。

第二，具有安全保护的功用。各级气桶上口木盖均未钉牢。如发生天然气“爆炸”时，木盖就会自动被顶开，使事故被限制在一定的级段内，有利于保护火

灶和井口的安全，可大大减轻事故造成的损失。

第三，具有气、水分离的功用。天然气由窼盆笕进入“出山桶”内，再次降温降压，水分被分离出来，由倒笕流入阴沟排出。需要时还可在“马门桶”“幺桶”内安设“倒笕”，进行多级分离。

第四，具有再降压的功用。天然气由各段火笕，进入每一级气桶，便经过一次降压，以达到气压的平衡均等。

第五，具有再调配气量的功用。当天然气由气笕输入每一级桶子，气量则经过一次分流和配气，逐级调配气量，直至每座火灶，用气量均匀。如天然气由窼盆 $\xrightarrow{\text{窼盆笕}}$ 出山桶（一个）$\xrightarrow{\text{出山笕}}$ 马门桶（二个）$\xrightarrow{\text{马门笕}}$ 腰（幺）桶（10 个）$\xrightarrow{\text{扇子笕}}$ 小气桶（50 个）。每个小气桶供气一座火灶（参见本节图 8－8）。由此看出，从一个“出山桶”扩增到 50 个“小气桶”，先后经过共“四级”气桶的分流和调配，才使每口锅灶的气量相等。

第六，具有气体汇集和混合功用。当天然气和空气进入窼盆，两种气体只是初步混合，不均匀。然后各级火笕输入各级气桶内，又多级进行汇集、混合，致使两种气体相混均匀，有利于提高热效率。

第七，具有测试气压和气量的功用。“出山桶”旁专门安有“亮筒子”，如需要时，即可测试气压和气量[44]。

**三、科学而朴实的测试工具——天然气的测试技术**

当钻井成功获得气流时，先必须测试气井的产气量，然后根据测试和计量的结果，为开发、利用提供依据，以便设计输气管道的多少，建灶生产的规模。为此，天然气的测试技术，则是气田采气工艺技术一个重要的组成部分。我国古代劳动人民，在天然气开采实践中，用简易的材质（如楠竹等），创制成功了测试、防爆、防火工具——“通天笕”、“亮筒子”等。虽然这些工具是朴实的，然而又是十分科学的，这在古、近代开发天然气中，起到了十分重要的作用，成为天然气开采史上一项重大科技成果。

（一）“通天笕”

“通天笕”，又名“冲天笕”，是一种既可测试，又可排气放空的安全装置。见下页图 8－9。

随着采气工艺技术的发展，井口简易的测试，安全装置也相继出现。关于“通天笕”的出现，清人吴鼎立在《自流井风物名实说》中有简明的记载：“其气得火即燃。始则一灶用，既而以竹筒引之百步、千步，或供十灶、二十灶之用。竹筒过气，妙在子竹无伤。”“除供锅口外，恐火势漫燎，安一大竹朝天，谓之‘冲天笕’，泄旺气。”[29]这种简易装置，不仅是“泄旺气”，即防止突然发生井喷，或引起火灾，或发生起火爆炸以保证安全的装置，而且又是初步测试、推算井内压力及气井产量的设施。

“通天笕”，系以一普通的楠竹制成。一般长约 5.0 米，内圆打通竹节，外圆距下端 0.5 米处，用稻草和麻纫扎成上大下小呈倒锥形草把，其上糊抹一层牛粪或石灰拌混盐水泥巴，外径比井径稍大即成。当气井见功或井口（如窼盆或因故障）



需要检修时，即将此笕插入井口内，并与此封闭严实，便可强制天然气从“通天笕”内孔排空，从而达到安全操作。试气时，在“通天笕”上口处安放一只碗，或一水瓢，观察其被天然气冲抬、跳动升起的高度，以此推算井内气流的压力及产量。这是第一步先期性的测试。并提供依据决定排放“亮筒子”多少，以便进一步测试气井的产量。

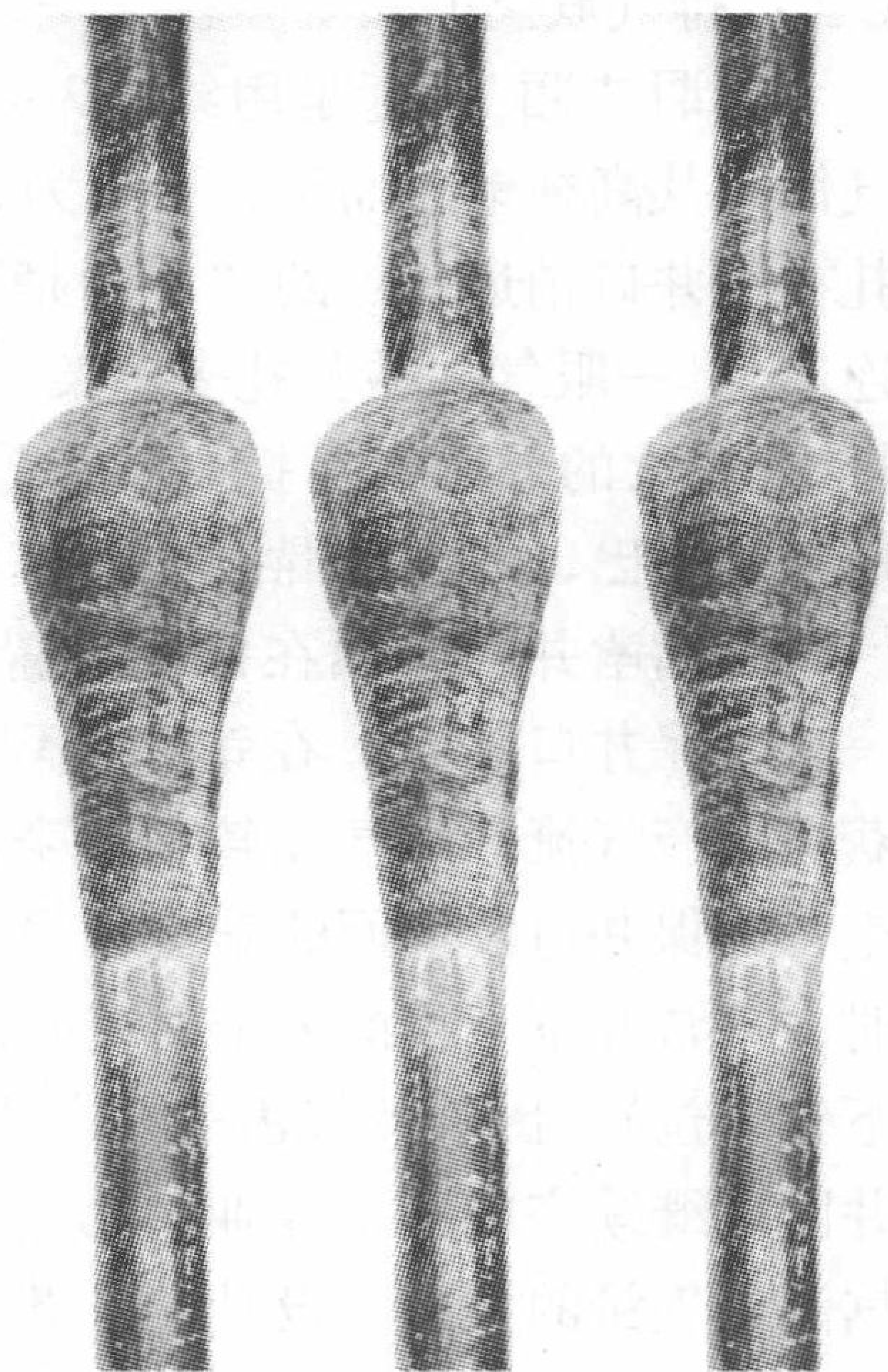


图8－9　通天笕　清代
盐业历史博物馆藏品

（二）“亮筒子”

“亮筒子”亦是用一根普通竹管制成。竹长约2米，内径大约3厘米左右，通节中空。其上端插入长约0.3米的铁管，或不用铁管，直接在竹管内塞外糊一节盐水泥巴，中间留有直径约1.5～2.0厘米的孔道通气亦可。为防止漏气，气桶外与竹管接触处，用盐水泥巴糊牢。

“亮筒子”是安插在“出山桶”内，每桶排列和插放九根为一堆，堆数的多少，视“通天笕”初测的气量大小而定，气流量大则多放，反之则少放。一井有的放至十堆，甚至更多。

试气时，逐堆点火试气，未点火者，可用盐水泥巴封严孔口，待点火时再通开。随即观察孔口火焰喷射的高低、颜色、疏密、响声等，以此推算气井的产量。一般火焰蓝而清亮，呜呜有声，焰高一尺（约0.33米），可烧锅一口（折日产气量约100立方米），焰高五尺（约1.66米），烧锅四口。焰高柒尺，可烧锅5～6口。总之，火焰喷冲越高，压力越大，则烧锅口也越多。然后根据“亮筒子”点火的数量（即燃火的堆数和个数），即可算出一口气井的产气量。以此作为确定设计灶房和规模，安置烧盐锅口数的依据。

“亮筒子”是一种富有科学的天然气测试仪，其原理与现代“开式彼脱管”相同，测试准确性是相当高的。如1959年，四川重庆巴县石油沟“巴$_{九}$井”在钻井过程中发生气喷，且燃起大火，采用“亮筒子”测试，该井每天产气量为10万立方米以上。后经“开式彼脱管”测试（巴$_{九}$），每日气量为10～15万立方米之间，两者相比，可以看出，“亮筒子”测试天然气准确性是较高的。同时，也标志着我国古代天然气测试技术，曾领先于世界水平（见图8－10）。

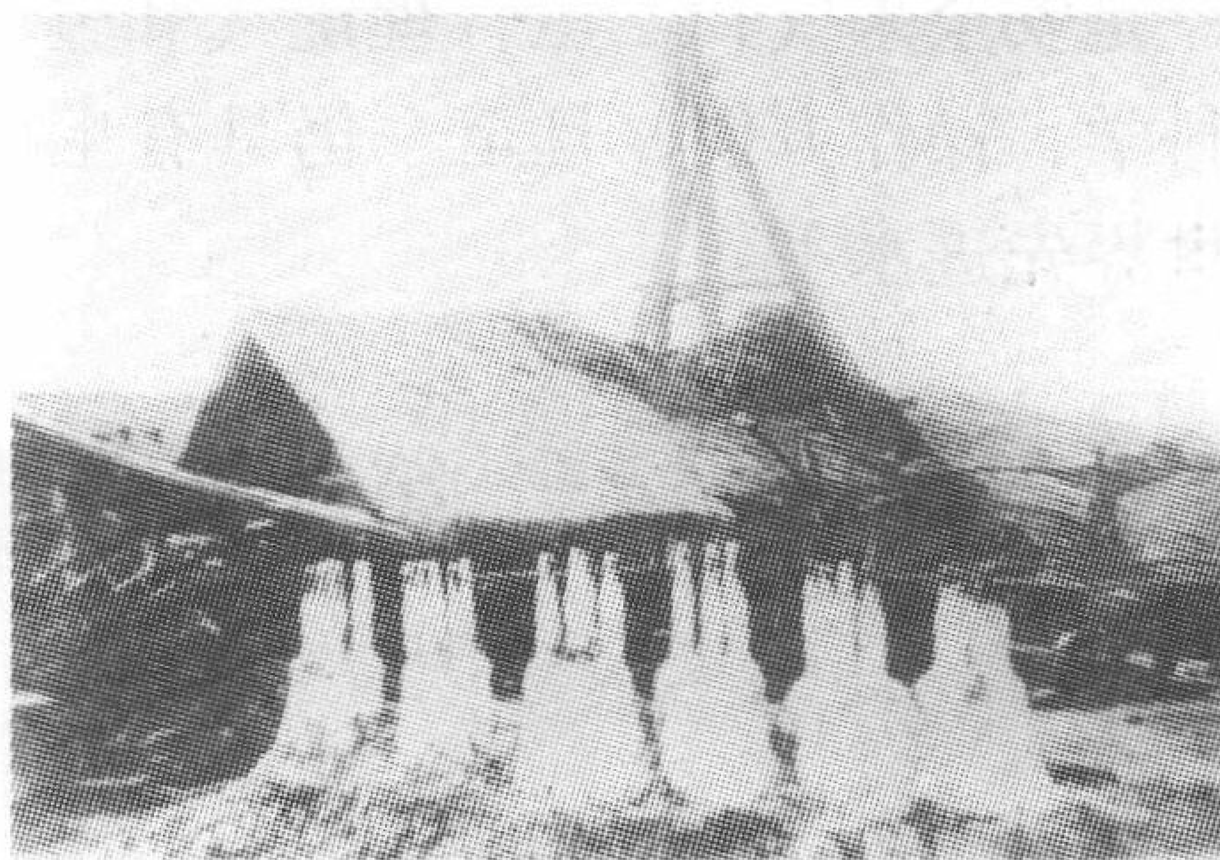


图8－10　亮筒子
采自：林振翰《川盐纪要》“场产”第九图





（三）排气放空的安全装置——“厢”

所谓“厢”，即是用约0.3～0.4米见方的木板，并镶合钉成呈“厢”状的排气筒，其高视地形而定，一般为3.5～4.0米左右。为了安全，扎“厢”位置，应扎在距井口稍远一点的“出山桶”内（一般一个桶扎两架厢，桶内置火笕与窴盆连通）。一眼气井需要扎多少架“厢”，则据气井产气量而定，一般每架“厢”可排50口火的天然气（折每日产量5 000立方米左右）。同时“两厢”的内外均可用盐水泥巴，或泥巴混拌石灰糊上，填补裂缝和孔穴，以防泄气。

凡钻凿井，必须在钻前设置排气放空安全装置——“厢”，其目的有三：第一，确保井口安全。在钻井过程中，往往会遇到浅层气流，或钻至深部地层时，获得高产气流，因气压较大，来势迅猛，天然气即可由窴盆笕，至“厢”排出放空，确保井口及地面的安全；第二，确保井下工程继续完成。当钻井初“见功”时，常常井下工程尚未全面完成，如还需将气层钻完，或“腾位置”（即出气层之下钻余位）。因天然气由安全装置——“厢”中排出，井口地面并无影响，这时，井匠可继续完成井下作业；第三，地面建灶暂不用气，必须先经过测试，然后根据测试气量的大小，设计建灶若干座，排放火笕的数量，以便将天然气输送到各灶煎盐。但是，在地面建灶过程中，暂时不用气。而井里钻出的气，既不能关闭堵在井里，又不能从井口散发在地面，于是，只好经过木“厢”中对空排放，待地面建灶完工后，开始引火上灶煎制。

关于“通天笕”、“亮筒子”及木“厢”，三者均有排气放空的功用，但各有独特的优点。“通天枧”不仅用于插入井口中排气放空，保证井口的安全，而且还用来测试气井的压力和产气量，即有放空和测试两种“功能”。“亮筒子”，除排气放空的功用外，最大优点，即是在“通天笕”第一次测试天然气的基础上，再做第二次测试，其科学原理与现代的“开氏彼脱管”测试仪相同，因而，具有较高的准确性，且在四川自流井大气田开发中，获得普遍的推广和应用。

本节上述古代先民发明的采气工艺技术，其工艺独特，技术先进，是在长期生产实践中产生和发展起来的。因而，具有科学性、经济性及应用性。它的优点一是安全采气；二是合理配气和输气；三是科学的试气。同时，材质简单，制作科学，操作方便，且至今仍具有生命力。这标志着我国古代天然气开采技术领居世界先进水平。

## 第六节　天然气钻采成功的典例

### ——长期稳产、高产的东源井①

#### 一、概述

东源井是一眼古老著名的天然气井，从投产迄今，长达100余年间产气量不衰，一直保持长期稳产、高产，十分引人注目，成为自贡盐场几千眼气井中出类

① 本节据贡井盐厂“东源井岩口簿”原始记录及该井100余年的采气历史写成。



拔萃的典型代表。这眼井的生产，不仅为我们提供了大量的天然气物质财富，而且是先辈们勤劳智慧的结晶。为此，它的开凿成功，记录了我们的祖先在地质、钻井及开采工艺技术上的丰功伟绩。

目前，世界上开采石油及天然气的国家，都把油气井生产期的长短、产量的高低，作为衡量本国技术先进程度如何的重要标志。如，罗马尼亚一口石油井自喷时期超过100年以上，罗马尼亚人把它作为国家的骄傲。由此可以说，东源井开采已在一个世纪以上，并且至今仍盛产不衰，成为中外油气开采史上一眼奇井，盐场璀璨明珠，这是自贡“盐都”的骄傲，也是我们国家的骄傲。

东源井是一眼奇特的气井。井址位于自流井气田西端，坐落在贡井长土大塘山上。该井早在清代咸丰八年（1858年），一盐商审时度势，在川盐济楚之际，学前人“查地脉”、“看榜样”① 的布井方法，便开始拓荒创建这眼井。可是，天有不测风云，刚下好石圈（即石制套管），尚未开工钻井，与之隔河相望的清江井，在钻井途中，竟然两次焚毁井物。此时，东源井怕被株连，断然停钻。在惊惶失措之时，又淮盐复销楚岸，川盐受阻，盐引积压，出现一连串的不景气。盐商远瞻前程渺茫，免冠脱履，只好付之一“弃”，至此井基停搁[45]。到清光绪十五年（1889年），又由多家盐商合股集资复钻加深，取名“炳源井”。克服了重重困难，战胜了井下错综复杂的事故，于1935年最终建成。在钻井中，一边钻井，一边生产，前前后后，断断续续，历时长达46年之久，完钻时井深935.88米，钻至三叠系雷口坡组气层，获得了丰富的天然气。东源井自1894年初步建成投产，迄今已100余年的生产历史，累计产气近6亿立方米，现今仍日产气约27 000立方米，一直保持长盛不衰，稳定生产，名列自贡盐场气井群井之冠。

东源井作为一眼古今中外罕见的奇井，引起了中外有关专家、学者的极大重视，已成为盐业科技史上的重要研究课题。这口古老的气井，采用传统的冲击式顿钻凿成。从凿成到现在，虽经长期的开采、生产的变迁，但生产现场如碓房、车房、井架、踩架、大车、簾盆等生产设施都遗存完好。这些实物都是清代盐场真实的再现，十分珍贵。尤其难得的是东源井还保存了两本“岩口簿”，文献上记载了当时钻井速度、事故处理、井下地质、气卤产层等原始资料，为我们今天研究该井提供了极为珍贵的史实。

东源井从开钻至今，历时一个半世纪，从建成投产到现在也是100余年，为何经过了这么长时间的开采，地下天然气产量仍保持着当初的生产水平，能持久的稳定高产？人们还在继续对它探讨和研究。但根据大量的史实和现代科学认为，东源井长期高产和稳产的主要因素有三：第一，是“先天造就”。所谓“先天造就”，即地下地质条件得天独厚，井位选定处于地下气卤丰富地带；第二，是“后天促成”。所谓“后天促成”，即高超的钻井技术，凿井质量高，有利于保护气层；第三，是先进的采气工艺、精心的管理和维护，因而，促成了这眼井长盛不衰，成为一眼世界级罕见的奇井（见图8－11）。

---

①根据地下地质条件及已经生产的气卤井，选定新井位。详见本卷第八章第四节“古代开凿盐井对井位的选定”。

## 二、得天独厚的地质条件
### ——井位选定好


图 8－11　东源井　清代气井
自贡盐场东源井遗址

自流井构造西端，地面与地下断层（俗称：断岩）纵横交错，切割气卤产层，水平与垂直裂缝十分发育，因而，有利于气卤资源的运移、贮藏和富集。先民根据地下地质条件，“查地脉”“看榜样”，然后将东源井的位置选定在这里——自流井背斜构造西端轴线上。由于地下储藏极为丰富的天然气资源，从而为东源井长期高产和稳产创造了先决的条件，即得天独厚的地质条件。

（一）地层划分

东源井井口出露地层：侏罗系自流井群凉高山砂岩；井底完钻地层为三叠系中统雷口坡组白云质灰岩。古代地层的划分，与现代地层名称不同，但其实质内容相同。为了便于了解古代地层的岩石的命名。此将本井钻遇的全套地层、厚度、岩性、产层，以今古对照，列于表 8－5①。

① 本表根据“东源井岩口簿”原始记录列出。



**表 8－5　东源井古今地层**

| 地层 |  |  |  | 代号 | 井深（米） | 厚度（米） | 古代岩口记录（俗称） | 现代地质对岩性描述及气卤资源产层 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 界 | 系 | 统 | 组 |  |  |  |  |  |
| 中生界 | 侏罗系 | 下统自流井群 | 凉高山组 | Jt5 | 0～30.67 米 | 30.67 | 草白沙岩 | 灰白色长石、石英砂岩 |
|  |  |  | 大安寨组 | Jt4 | 30.67～60.95 | 30.28 | 草白岩、白麻枯、桃花岩、夹铁麻枯、底部为二红岩 | 灰白色泥质灰岩、紫红色泥岩 |
|  |  |  | 马鞍山组 | Jt3 | 60.95～170 | 109.05 | 大红岩、二红岩、白麻枯、青砂岩夹少量硬岩 | 紫红色泥岩、砂质泥岩、夹灰白色粉砂岩、底部为浅灰色页岩 |
|  |  |  | 东岳庙组 | Jt2 | 170～179 | 9 | 草白岩夹青砂岩、二红岩、底部为黄姜岩 | 灰褐色泥质、灰岩（地面标准层） |
|  |  |  | 珍珠冲组 | Jt1 | 179～224.30 | 45.3 | 草白砂岩，青沙夹少量硬岩、底部瓦灰岩、青沙草白岩 | 紫红色砂质泥岩、夹白色长石、石英砂岩 |
|  | 三叠系 | 上统香溪群 |  | Th6 | 224.30～237 | 12.7 | 草白岩、青沙夹少量硬岩，底部瓦灰岩、青沙草白岩 | 灰白色细粒，石英砂岩。本层产少量黄卤及天然气 |
|  |  |  |  | Th5 | 237～339 | 102 | 上部草白岩、青沙夹瓦灰岩、中部草白绵岩、瓦灰汤汤岩及煤炭岩、底部草白岩 | 黑灰色页岩，砂质页岩、夹簿层石英砂岩与煤层 |
|  |  |  |  | Th4 | 339～473 | 134 | 上部青沙岩、中部烟子岩、麻枯夹草白岩及汤汤岩，底部青沙岩、草白岩 | 灰色细-中粒石英砂岩、夹砂质页岩。本层产黄卤及天然气 |
|  |  |  |  | Th3 | 473～516 | 43 | 草白汤汤岩、青麻枯及青沙岩 | 灰色页岩、砂质页岩夹灰白色粉砂岩 |
|  |  |  |  | Th2 | 516～656.51 | 140.51 | 青沙岩、草白岩、青沙绵岩、黑油沙岩 | 灰色细粒石英砂岩夹沙质页岩。本层产黄卤及天然气 |
|  |  |  |  | Th1 | 656.51～762 | 105.49 | 青沙岩、青麻枯、黑油沙、瓦灰岩夹烟子、煤炭、底部草白岩 | 灰、灰黑色页岩、砂质夹薄层灰色石英砂及煤线 |
|  |  | 中统 | 雷口坡组 | Tr3 | 762～859 | 97 | 黑油沙、青麻枯、青矿子、白矿子、青麻枯灰千子、有少量草白汤汤 | 灰褐色石炭岩、白云质灰岩、泥质灰岩。本层产天然气、黑卤 |
|  |  |  |  | Tr2 | 859～930 | 71 | 青矿子带瓦灰汤汤岩、夹白干子、青麻枯夹矿子 | 灰褐色白云岩、泥质白云岩、灰白色石膏呈互层 |
|  |  |  |  | Tr1 | 930～935 | 5 | 青矿子、青铁麻枯 | 石灰质白云岩、针孔状白云岩。本层产天然气、黑卤 |
|  |  |  |  | Tr3 | 935～949 | 14 | 青矿子、白矿子 | 褐灰色白云质灰岩、断层重复（Tr3 段）、产气卤丰富 |





（二）地质构造特征

1. 东源井位于自流井（气田）构造西部倾没端轴线上（古称：地脉线上）

自流井构造，为不对称的短轴背斜，南翼陡峻北翼平缓，构造高点在自流井珍珠寺附近。同时南翼地表有一陡折带，地下为隐状断层，西部有黄葛坡逆断层使轴线错开。

该井正位于构造西端轴线上，其构造部位较高，不易被气田水所淹没，因而，有利于天然气的聚集。同时，受断层遮挡所圈闭，封闭条件良好，对气的储存十分有利。

2. 断层（盐场俗称“断岩”或“滥岩”）切割该井产层

该井地下有黄葛坡断层和重滩断层切割。其中黄葛坡大断层控制了构造西端气水的分布，并延伸至地腹在本井935米处通过。断距约100米，使雷口坡组一段（Trl）与本组三段（Tr3）重复，增加了产气层厚度，气源补给条件好，有利于气的储集。

3. 该井所处地下裂缝发育

该井地下断层纵横交错，致使水平与垂直裂隙极为发育，已为钻井过程中遇见24次大的气水显示层段所证实，因此扩大了天然气运移的通道和储集的空间。

4. 该井与附近的气卤井通腔显著

所谓“通腔”，系指气卤之间被岩层裂缝沟通，开采中的井间干扰及窜失现象。因东源位于构造断裂带上，断层从井深935米通过，其邻井展布的方位多与断层趋向一致，呈北西至南东向排列，由于受断层的影响，地层破碎，裂隙发育，为气、卤流体提供了良好的通道。因此，该井与断层带上附近的生产井发生通腔，造成井干扰尤为显著。

据史料记载，东源井，与其附近通腔的井有福临、富隆、海兴、玉龙、福龙、宝荣、纬龙、德心、宜春、添海、心源、银龙、荣福、如皋、江源等。如，福临井钻至井深870米时，正遇东源井发生井下事故而停产，该井日产气增加到约15 000立方米。东源井解除事故，该井日产气量又缩减为4 750立方米。又如，福龙井，于1920年完钻，日产气为5 035立方米，后因东源井钻至气层，该井气产量迅速下降到424立方米。一次遇到东源井检修，井内堵塞，该井气量上升到4 000立方米左右。上述事实证明，东源井建成投产后，与邻井通腔十分显著，气、卤产量此起彼伏，是东源井的明显特征。

（三）本井主要产层

东源井采用旧法钻成，逐层揭开气层，具有产层多的特点。

东源井的钻井和开采气卤全过程，大致可分为：1892年前钻采香溪群的黄卤和少量天然气；1915年后，又加深到了756. 34米时，并与玉龙井通腔。1921年，仍继续向下加深至930. 33米，发现了雷口坡组的天然气和黑卤，自此便揭开了该井大量开采天然气的历史。其中，在抽小眼和钻斜中发现了多层气、卤层段。总的来说，该井在钻井中，共计发现气水显示层段24次。1890年至1947年，共57年中先后补腔70（井）段次，其中补淡水腔22段次，补白水腔19次；补走岩腔29段次。目前井内仅保留主要产气层和黑卤层。



主要产气层，值得提出的有四次钻遇天然气：

第一次，钻至井深393.97米，即三叠系上统香溪群四段（Th4）下部，首见天然气，日产气量约420立方米。

第二次，钻至井深930.33米，三叠系中统雷口坡组一段（Trl）上部，日获气量为10 699立方米。

第三次，钻至井深931.72米，仍即雷口坡一段（Trl）下部，日获气量为6 110立方米。

第四次，钻至井深938.03米，即雷口坡三段（Tr3）下部，日获气量为12 890立方米。

上述该井四次共计钻获日产气量为30 020立方米。

黑卤层：井深836.70米，产层为Tr3，产卤量为3.5立方米/日，含盐量约110.5克/升。

**三、高超的钻井技术**

坐落在自贡市贡井区大塘山的东源井，采用成熟的顿钻法凿井，地面井场置有井架、碓架，绞车等设施成龙配套，以抗拉性强的竹篾连接各种巧夺天工的钻井工具。牛车作动力，人工捣碓，井下钻头不断破碎岩石。并用创制的“泥筒”捞取井底岩屑，如此循环往复，使钻井深度不断增加，同井下错综复杂、变化多端的岩石和裂缝作斗争，前后钻井长达46年之久，持之以恒，克服了重重困难，战胜了数十次井下复杂的事故，最终胜利完钻，终孔井深938.03米，喜获得高产的气流。

（一）钻井简史

东源井，从开钻到完钻，前后历时46年，整个钻井过程，大致可分为三个阶段：

1. 定井位开钻及续钻阶段（1858—1890）

东源井（原名炳源井）于清代咸丰八年（1858年）前后选定井位（俗名：签井），并即开井口，下石圈子（石制套管）。鉴于当时诸多原因，钻井即停搁。清光绪十五年（1889年），社会需要食盐，井盐业复苏，再由盐商曾子轩、李朗清、林丹岩等，复淘加深本井。先查明原井深深度25.88米，续挖井至28.39米，然后重新翻砌石圈46个。接着凿大口到69.24米，于1890年8月9日至18日，下木柱（即木制套管）至大口底。8月19日，采用直径16.64厘米钻头向井下钻凿小（井）眼。

2. 边钻井和边生产阶段（1896—1921）

东源井于1892年7月23日，已钻至343.97米（即香溪群四段），首见气层，产气量420立方米/日，用于煎盐5口锅，为该井第一次钻获气流，开始用于煎盐。之后，继续往井下加深，钻遇黄卤。1893年12月钻至552.79米，钻头改小，直径为15.90厘米钻井。1896年6月28日钻到624.84米暂停钻井，遂将炳源井更名为东源井申报投产。

又于1915年11月25日，因毗邻两井先后钻获天然气。乃由李朗清等盐商经办继续加深，钻至624.84米，又将钻头直径改为15.41厘米。1917年7月14日钻

到756.34米，天然气增大，经查明与玉龙井通腔。9月15日钻至764.93米，因发生纠纷停钻。1918年改由张乐三经手继续加深，1919年9月29日钻至836.70米（Th3）见黑卤，产卤量为5.6立方米/日，含盐量182克/升。1921年2月钻至859.92米，钻头直径改为14.69厘米。

3. 钻遇主要气层阶段（1921—1935）

东源井于1921年11月22日，又钻至930.33米（即产层Thl），天然气迅速增加到11 020立方米/日。引气上灶煎盐130口锅，为该井第二次钻获气流和大量利用于制盐。1922年至1924年间，加深至931.72米，气量增到17 130立方米/日，按原约分班设灶，煎盐202口锅。1931年4月5日，安置机车，汲卤带气。1913～1914年，发生三次重大井下落钻事故。

1935年，继续处理井下事故，用直径14.47厘米的钻头开斜眼，从井深929.79～935.88米，钻开另一气层，第四次增添大火。6月22日发生强烈井喷（气水同喷），高出井口地面高达25.08米，历时40天，除恢复202口火圈外，另放气箱（排气放空管道）9架。1936年4月7日至9日连续三天中，将落井钻具全部解除。9月2日测井，实际井深938.03米，该井气量猛增到30 020立方米/日，煎盐锅最多时达354口，成为一眼高产井，并一直延续至今。

新中国成立后，该井又经过多次精心修治，现今井深949米，终孔井径11.30米，完井地层Tr3迄今仍日产气量近3万立方米。

（二）钻井质量高

钻井技术，于宋代发明，至清代已臻于完善。井钻井工艺，可分为九大工序：即布井位、开井口下石圈、凿大口、下木柱、凿小口功、腾位置、搧泥、补腔、取难（详见第五章第四节“清代钻井工艺的完备”）。因而，无疑本井是一眼钻井质量高的气井。其钻井工艺特点，除继承传统钻井技术外，井匠技师尚有发挥和独创，突出表现在井身伸直；“补腔”成功；钻井时对气卤出现征兆的鉴定。

1. 井身伸直

东源井位于地断裂在座带上（俗称：断岩裂缝上），岩石裂缝十分发育，同时，在钻井中，尤其钻遇主气层时，气压大，时常发生井喷，天然气中含$H_2S$等有毒气体很重（高出空气中允许含量的100多万倍），为此，给钻井带来了极大的困难，但钻井中，先民们为提高钻井质量，使井身伸直，井筒圆滑，并积极采取了有力的措施：

一是该井有一批能工巧匠，技术娴熟，这是提高钻井质量的关键。如，先后雇用富有经验的井口管事（类同今天技师职称）有钟玉清、陈相荣、杨金山等。设计地面建筑群物的木匠有廖松廷、黄荣海、李荣华等。安置大车和卓立井架的辊工有郑述三、胡明武等。巧制石圈的石工有周玉山、何荣松等。还有铸造钻头的掌钳师。这些匠师，为了钻井工程技术的需要，对凿井设施做到制造精巧、承重、耐磨、易修。同时对地面建筑群的组合，依次排列、紧凑、牢固、适用。既继承传统技术，又因地制宜和独创。他们为东源井建成，立下了不可磨灭的功绩。

二是严格遵守操作规程。钻井工匠各司其职，每次下钻，事先都得上碓架“杵碓”（即杠杆原理）“找准井底”，然后才捣碓，钻头在井底破碎岩石。起钻



后，除用“泥筒”捞尽岩屑外，同时以“样筒”（一种测量井是否伸直的工具）放入井内考测钻井质量，如“样筒”灵活，即畅通无阻，则井身垂直，井筒圆滑，反之，则出现了倾斜，或井筒不圆，并要立即采取技术措施处理，直到符合钻井质量要求。

东源井，经生产实践和测试证明全井（筒）伸直，井壁规则圆滑，不易垮塌，利于开采，是高质量的天然气井。

2. “补腔”成功——精心“补腔”保护井壁

（1）“补腔”释义

所谓“补腔”，即用油灰或泥巴油灰等材料，填补井内岩层垮塌后形成的硐穴，或补地层裂缝水，故盐场井匠俗称为“补腔”。现代钻井称之“补井、堵漏”。二者称谓不同，但其含义相同。井下岩层垮塌，不仅给钻井中造成极大困难，而且还给今后提捞生产带来后患，为此，凡钻井遇台层垮塌，必须补腔，特别是开凿天然气井，更需要补腔。

（2）开凿火井见腔就补

东源井遵循“开凿火井，见腔就补”的原则。该井从1890至1947年，历时57年间，先后补腔总计70井段次。其中补岩腔（俗称走岩）29段次；补淡水腔19段次；补咸淡水及咸水腔22段次。在补腔过程中，尤其是在751.75米咸淡水腔最难补。据1920年9月15日“岩口簿”注云：“此水腔有冷气甚大，又稍有点火，尘垢最重，水色黑，醒灰（即补灰不结晶），故补三次都醒灰。”为补这个水，当年经过六个月，先后共计补了9次，最终补好了。

（3）补腔成功的基本经验

第一，东源井经过补腔，井身完好，渗水量很少，为长期稳定生产起到了重要作用。一是凿井技术高超；二是精心补腔，其成功的基本经验用猪儿粑油灰（即用较干的油灰）补岩腔；补水腔（包括白水腔、咸水腔等），用鸡肠带油灰（即较稀的油灰）。凡补腔材料的配制，都要符合质量要求。

第二，补腔顺序，由下往上补。据该井“岩口簿”记载：1891年9月至10月间，由井深327.48～136.09米，一连补腔六井段，其中补水腔三段，走腔三段。于是，大大节约了时间，缩短了工期。

第三，长井段补腔，正投原眼——创“补腔”的奇迹

古代补腔技术中，则开腔技术是最关键的，即补腔井段太长（一般补长10～20米），工匠在开腔时容易偏斜，难投正原井眼，属高难度的井下作业。但东源井于1892年4月，补走腔（泥岩垮塌井段）235.13～147.88米，用乪灰55碓①，补长井竟长达87.25米，一次补腔成功，正投原井眼，创补腔的奇迹。这表明井匠高超的补腔技术，同时也说明井身伸直，钻井质量高。其井身结构见图8－12。

3. 钻井时对气卤出现征兆的鉴定

---

① 古代井下补腔材料分猪儿巴油灰、二硫灰、泥巴油灰及乪灰。此指用的乪灰补腔。一般每碓用石灰70千克，乪水（制盐母液）液25～30千克，混合而成。乪灰补腔其优点：一是防腐蚀；二是补腔后干得快，不需养腔，随补随开，节省时间。



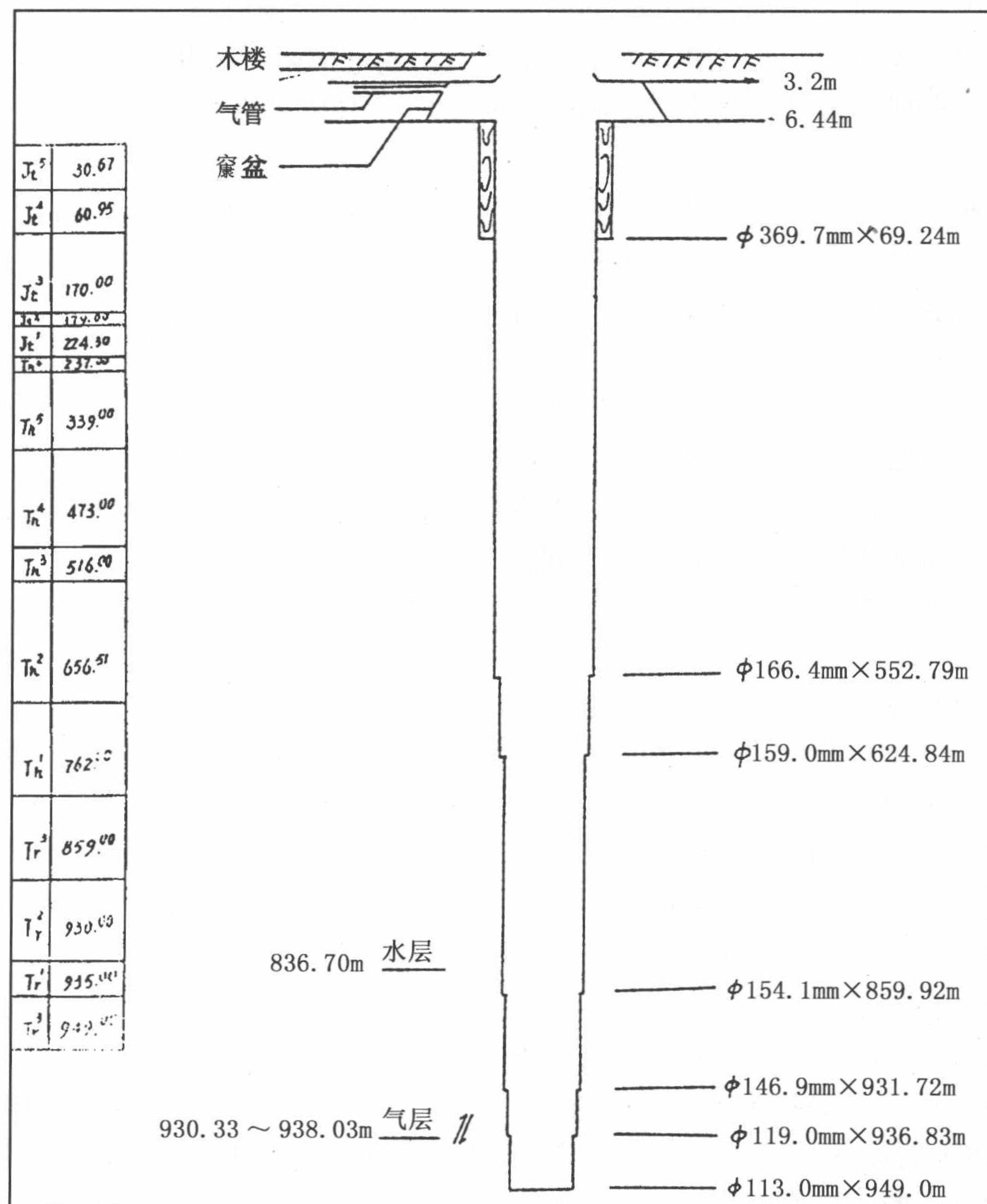



图 8－12　东源井井身结构

采自：四川石油管理局川西南矿区等《窿盆低压采气机理研究和分析》

钻井中，一般出现气和水有以下特征：

第一，钻井时，出现火、水泡子、泡子吊在钻头等情况，表示钻头已遇见出天然气和水的岩石裂缝。此时，可用火测试泡子，如有爆鸣，则为火（即天然气）泡子，表示有出气的特征；如不爆鸣，则为水泡子，有出水的特征。

第二，钻井时，如发现钻头四楞及四角被磨损，起老鸦嘴等铁号，或钻时裁底仄子，表示钻遇见岩石裂缝，此时，就有出气、水的可能。如有时为干裂缝，则就没有气和水的情况。

第三，钻井中，如发现井口气臭，或有气出现时，即可用纸捻火（不燃明火）插入井口出气中约一分钟，然后抽开，如纸捻火熄灭，则表示为天然气；纸捻火又复燃，则为卤气或冷气。

第四，钻井时，如有细砂（即断层流砂）填塞蛋壳，砂粒滤水及水晶岩（即



方解石之类）等现象，则表示有立缝出气或有水。

第五，搧泥时，咸量升高，表示可能有新的卤水出现。

第六，起钻后，钻杆上出现马尾丝（气熏后的印迹），则表示浅地层有“草皮火”（系三叠系上统香溪群中少量的天然气）出现。

第七，钻井时，钻杆及竹篾有收汗等现象（突然出现具上水分蒸发快），则表示有气和水出现的可能。

第八，钻井时，突然发现井口（如亮筒子、或灶上）天然气增加，火力来势凶猛（不是逐步增加的气），则表示钻遇到了气泡。此时，便立即停止钻井并起钻，在井口插“通天笕”放气；同时，煎灶上应立即灭火，禁止明火接近井口，以免发生火灾，烧毁天车、厂房等地面设备。待插“通天笕”排气放空后，即排笕放亮筒子。如排放气数天或十余天后，气量降低至甚弱，则证明所出的火为“气泡”。如若气量稳定，则证明钻到了有工业价值的气流。此时，可继续钻井至气层完，或腾位置终井。也可不再钻进，而投产煎盐。但无论是续钻，或是不钻，井内必须做到两点：

其一，立即停钻，多推水搧泥，将泥砂搧尽，推水把气拉顺，即所谓“黄卤推砂，黑卤推气”。其目的是预防井内泥砂阻塞气水裂缝，使气水畅通。

其二，应用“通天笕”“亮筒子”测试气流量的大小，以便为铺设输气管线和建灶规模提供依据（测试方法，详见本章第五节清代精湛奇绝的采气工艺技术，三、科学而朴实的测试工具）。

**四、东源井采气工艺的特点**

东源井从投产迄今已超过100年的历史。在采气工艺上，采用裸眼、敞口、无阻、排水采气，是世界上独特的采气工艺。同时，对低压天然气藏的开发达到了单产量高，服务年限长的成效，也是世界上罕见的。至今这眼井仍完整地保存着古老的井架、绞车及凿井工具等设施，作为历史见证，永远记录着自贡盐场人民开发天然气的光辉业绩。

（一）寙盆敞口无阻采气的特点——集输按六级配气

根据东源井安置寙盆的先后，容量大小，可分为大小两种寙盆。小寙盆，是在建井初安装的，即1890年左右，下完木柱，便接着安上。其规格：下圆直径为1.85米，上圆直径1.04米，高度1.85米。因当时产气量小，小寙盆能满足生产的需要。于1921年11月22日，钻至930.33米，产气量迅速增到11 020立方米/日。这时原早安的小寙盆已无法容纳。遂对小寙盆改装加大，叼取石圈子七个，锯掉木柱3.22米，安置大寙盆，其规格：下底圆径2.54米，上底圆径1.66米，高3.22米，即安置成现有的寙盆，以满足采气的需要。东源井寙盆采气工艺是天然气沿井筒上升进入寙盆，地面空气由井口倒流寙盆，然后在寙盆内两种气体混合（形成混合气），从寙盆到盐灶，经过六级分配，即出山桶→汇桶→马门桶→腰马门桶→腰桶→小气桶，从而完成寙盆敞口，无阻采气，合理分输。至于笕管的铺设，从寙盆至灶房，按向上坡度6～9度排笕，并根据设置煎锅的口数，合理、准确的安排（见图8－13）。



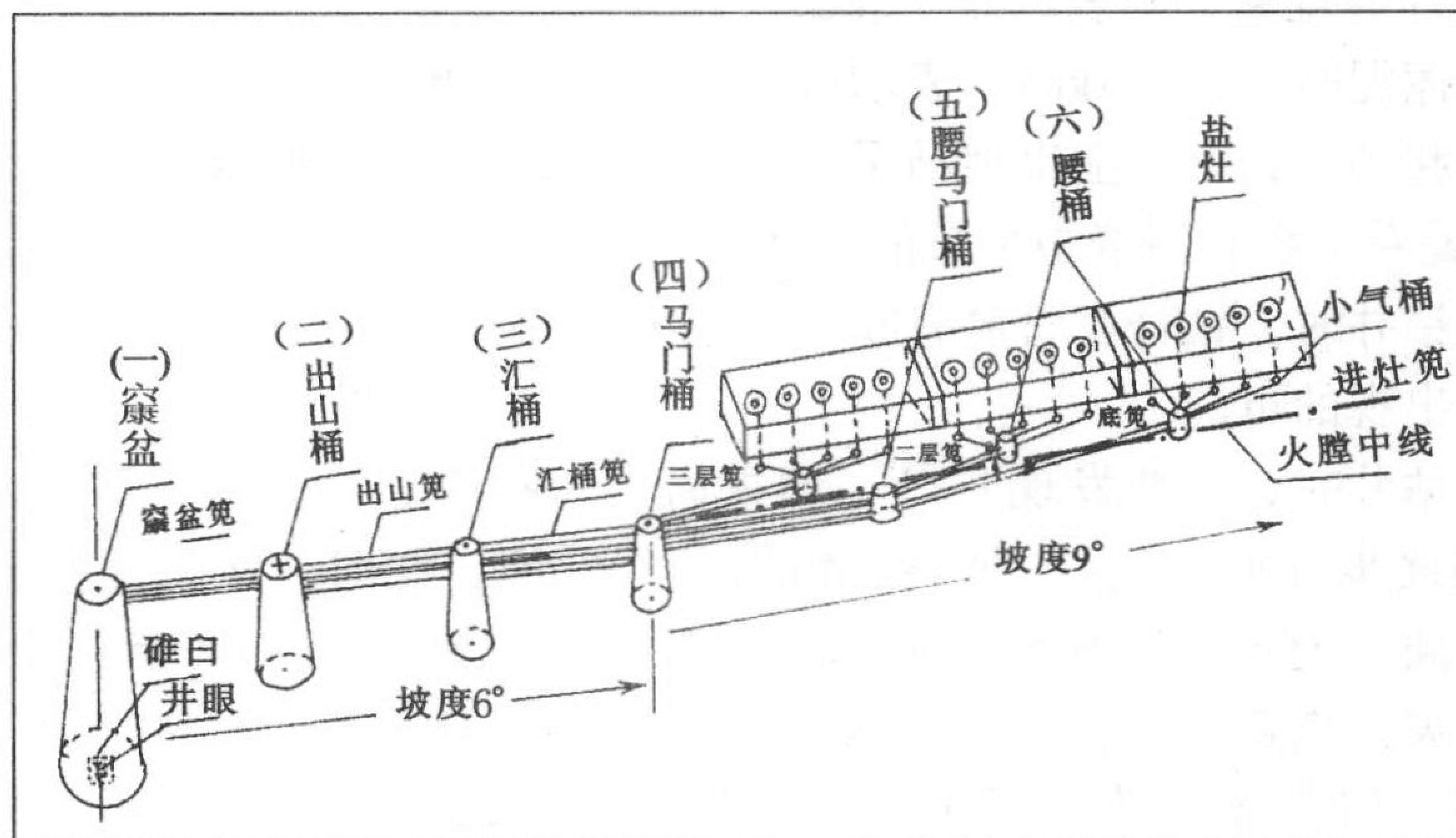



图8－13　东源井输气——按六级分配

采自：四川石油管理局川西南矿区等《簸盆低压采气机理研究和分析》

本井历年产气量：

东源井1858年开办，不久即停搁。之后，于1892年7月23日，钻获天然气算起，迄今（1997年6月）历时开采105年，累计气产量约6亿立方米。其中，香溪群累计采气435.5万立方米，雷口坡组采气5.95亿立方米。

（二）独创排水采气法

“排水采气”是东源井长期保护稳产的重大技术措施。它与簸盆配套，为天然气从井产出到井输送，形成了一套完整的采气工艺。

前已述及，簸盆装置，则是安放在气井的井口上，为气流的汇集、配气、输送起着总气柜的调配作用，因而称之“井口采气装置”。而“排水采气”，在此，系指井下气卤资源的产出关系，即采用提捞方法，将推筒放入井底，不断推汲井内的积水（推水的多少，视井内积水而定。推水一年四季，春、夏、秋、冬，天天如此），使岩层气缝裸露，气体畅流，以防水浸和水淹，从而提高产气量，确保气井正常生产，收到了立竿见影的成效。

自流井气田，三叠系嘉陵江组嘉$_{五}$段和雷口坡组中的产层，多是气、卤共生，因此，人们在钻凿气时，往往也钻遇卤水，成为气、卤兼采井（俗称“火、水井”）。当然，气井以产气为主，汲卤是为了更好的采气。因该气田为低压气，当气田进入开发时，边水和底水很活跃，特别是在浅气藏进入晚期开采阶段，水浸对气藏开采威胁更大。水浸作用，不仅使地层中引起气流能量的损耗和降低气田的采收率，而且当浸入气藏地层孔隙和裂缝中的含水饱和度达到一定的标准时，在重力作用下，水在井附近，或较低的裂缝中扩展，封堵气流的通道，则天然气就要停止流动，气井可能被水淹。可是，自贡盐场的先民们，早就认识到了气水同一井中，水对采气的影响和危害，以采取“排水采气”的重大措施，对于提高气井产量和气量的采收率，收到了显著的效果，东源井的高产、稳产超过100年就是最佳例证。

东源井自1892年第一次见功，使用牛车推汲黄卤起，历年来均为气水同产，



经汲卤采气的长期生产实践证明，如果一天不排水，则产气量便受显著的影响，几天不排水，则产气量逐渐下降。一般情况下，当井内有液柱 40 米左右时，就停止产气；当液柱下降到 20 米左右时，便正常产气。故该井“排卤采气”作业，采取井内不时提卤，致使液柱保持 20 米的高度或以下。

东源井经历了一个多世纪的开采，至今仍保持日产气近 3 万立方米，产卤 2 立方米，井口压力低于大气压力下汲卤采气，经久不衰，长期稳产，这一事实证明，先民们创造的“排水采气”法对于有水气藏进行排水，不仅能保持气井实现长期稳定生产，而且能最大限度地提高气藏的采收率，尤其对浅层的合理开发、综合利用，具有重要的指导作用。

纵观东源井的地质、钻采史，说明自贡盐场的先民们，有丰富的地质知识，井位选定在构造西端轴线上，地下裂缝发育，气、卤贮集极为丰富，得天独厚的地质条件，为该井高产和稳产奠定了基础。同时，钻井工匠技术高超，实现了井筒伸直，井身完好，钻井质量高，有利于“排水采气”，并用簾盆集输，合理分流，该井高产、稳产已超过 100 年，并永葆青春，历久不衰，且至今仍日产气近 3 万立方米，不仅是自流井气田井群（上万眼井）中的典型代表，而且成为我国和世界油气开采史上一眼罕见的奇井。为此，1985 年自贡市人民政府将它首批公布为市级文物保护单位，再次肯定了它的历史地位和科技价值。并以固有的面貌，对外开放，供中外游客、专家、学者参观和科学考察。最后，我们引用一首《七古》，作为本文的结语：

山泽通灵娇欲睡，敞开三叠露明媚。
咸泉喷发七十尺，烈火煎锅三五四①。
构筑参差节节连，堡坎迤逦巍巍峙。
能工巧匠傲天工，一曲赞歌添建志[46]。

① “烈火煎锅三五四”，系煎盐锅 354 口。





# 参考文献

[1] 程希荣：《关于国外石油名称的演变》，刊《石油知识》，1986 年第 1 期。
[2]（元）孛兰肹：《元一统志》卷四“延安路·土产”。
[3] 刘春全：《临邛井不是火井，而是石油井》，刊《盐业史研究》，1989 年第 1 期。
[4]（明）方以智：《物理小识》卷二地类“脂流”条。
[5] 谢肇淛：《五杂俎》，卷四“地部”。
[6]（清）严如煜：《三省边防备览》卷九。
[7]（清）吴鼎立：《自流井风物名实说》。
[8]（前苏联）伊·兹·哈斯给斯著：《石油工作者手册》（第 12 页），燃料工业出版社，1956 年。
[9]（美国）A·I·莱复生：《石油地质学》（上册），地质出版社，1975 年。
[10]（明）何宇度：《益部谈资》卷上；又，杜应芳等：《补续全蜀文艺志》卷四六。
[11]（明）曹昭著，舒敏等增编：《新增格物要论》卷七。
[12] 李心传：《建炎以来朝野杂记》“甲集”卷一八。
[13]（北宋）王得臣：《麈史》卷上。
[14] 刘德仁：《我国古代开发天然气年代考》，刊《社会科学研究》，1981 年第 3 期。
[15] 彭久松：《试说临邛火井》，刊《井盐史通讯》，1977 年第 1 期。
[16] 林元雄、宋良曦、钟长永等：《中国井盐科技史》，四川科学技术出版社，1987 年。
[17] 鲁子健：《临邛火井考》，刊《盐业史研究》，1995 年第 3 期。
[18] 胡砺善：《祖国石油与天然气史话》，石油工业出版社，1957 年。
[19] 徐中舒：《蜀王本记成书年代及其作者》，刊《社会科学研究》，1979 年第 1 期。
[20] 祁守华：《是地表裂缝，不是“火山口”》，刊《盐业史研究》，1989 年第 4 期。
[21] 郦道元：《水经注》卷三三“临邛”条。
[22] 胡昭曦：《唐宋临邛火井县治的今址》，载彭久松等编：《四川井盐史论丛》，四川省社会科学院出版社，1985 年。
[23]（清）丁宝祯等编：《四川盐法志》卷首。
[24]（民国）《邛崃县志》卷五。
[25] 杨文衡等：《我国古代对石油天然气的开发和利用》，刊《学术研究》，1982 年第 1 期。另见，戴裔煊：《中国历史上对石油天然气的认识利用及其与西方的关系》，载《社会科学》，1983 年第 2 期。



[26]（西晋）张华：《博物志》卷九。
[27]（东晋）常璩：《华阳国志》卷三。
[28] 彭泽益：《自贡盐业发展及井灶经营特点——自贡盐业契约档案选辑》代序，刊《井盐史通讯》，1984 年第 1 期。
[29]（清同治）《富顺县志》卷三十。
[30] 黄植青等口述，胡善权等撰文：《自流井李四友堂由发轫到衰亡》，载《自贡文史资料选辑》第七辑。
[31] 胡砺善：《四川自流井构造天然气开采的研究》，石油工业出版社，1957 年。
[32] 丁传柏等：《自流井构造天然气开发历史解析》，载彭泽益等编：《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991 年。
[33] 李良忠：《中国自贡井》，四川人民出版社，1993 年。
[34]（清）李榕：《自流井记》。
[35]（清）刘源："火井二首"（见《恩诚堂集》卷三，清宣统元年版）。
[36]（晋）左思：《蜀都赋》，（李善《文选注》卷四）；又，《古今图书集成》，职方典第五八一卷。
[37] 刘德林、周志征：《中国古代井盐工具研究》，山东科学技术出版社，1990 年。
[38] 廖品龙：《历史上的井盐产制状况略考》，载《井盐史通讯》，1981 年总第 8 期。
[39] 熊楚：《自贡地质矿产盐业问题》，民国二十四印本。
[40] 四川石油管理局川西南矿区、自贡市轻工局、自贡市贡井盐厂、自贡市盐业历史博物馆联合研究：《窿盆低压采气机理研究和分析》，1986 年 11 月；又，丁传柏、张国焱：《窿盆低压采气机分析》，刊《天然气工业》，1998 年第 1 期。
[41] 路中侃等：《从自流井气田嘉$_三$气藏的开采，看裂缝——孔隙气藏远景》，刊《天然气工业》，1986 年第 3 期。
[42] 吴炜等：《四川盐政史》卷二。
[43] 谭旦冏：《中华民间工艺图说》，台湾中华丛书委员会出版，1956 年。
[44] 钟杰：《火井采气》，载《井盐史通讯》，1981 年总第 8 期。
[45] 邓玉昆：《人工造东源》（自贡盐场清代东源井遗址考究），1984 年。
[46] 邓玉昆：《从东源井看古代井盐建井工艺》（自贡盐场清代东源井遗址考究），1987 年。





# 第九章
## 我国古代井盐地质的初步建立

我国井矿盐地质起源很早，最早可以追溯到公元前3世纪。井盐地质伴随井盐生产而诞生。也伴随着井盐生产发展而发展。在井盐生产中，地质起着先导的作用。

井矿盐生产，“与滨海各省煎晒之情形，本有不同”[1]，具有自己的特点，是一个宏大的、复杂的及技术性的系统工程，包括地质、凿井、采输、煎制及运销等环节。在这个系统工程中，地质又起着领头的作用，尤其是在井矿盐大生产时期，更是如此。

在井盐史上，由于各个阶段，生产力发展水平的不同，因而，涉猎地质的广度和深度亦不同。从战国末至明末，主要特点是：生产力水平较低，凿井较浅，地质构造简单。但在这漫长的岁月里，先民们在挖井、钻采及利用地下矿产资源生产劳动中，长期与岩石、裂缝、矿山、卤气等相伴，于是，逐渐积累和丰富了井盐地质知识。到了清代，特别是清中后期，由于生产力水平的大大提高，盐卤及天然气大规模的开发，井盐生产空前地繁荣。为此，深井地质现象大量地被揭露，井矿盐地质获得了极大地发展，即从地层分层、地质构造的认识、盐卤及油气资源的分布、新凿井位的选定到地质钻井原始记录（“岩口簿”）的创立等，由此，中国古代井盐地质初步建立。

## 第一节 地下地层系统的建立及分层

### 一、深井地层系统的建立及分层

关于井矿盐地层的认识和分层，最先还是从地表开始的，并逐渐向地下拓展，经历了由表及里，由浅入深，由简单到复杂的一个发展过程。先辈们早期在利用“咸土”[2]“咸石”[3]的同时，也引起了对地层的注意。随着人工挖掘（大口）盐井的开始及发展，人们在挖井中亲临观察到地层与卤水之间的关系，如陵井深50余丈，其上为土，下为石，咸水盐脉“自石而出”[4]。

卓筒井地层。卓筒井于北宋中期发明，至清初，为卓筒井阶段。在这个阶段中，经钻凿的地层，也是浅部地层，采汲的亦是表层淡卤。因此，地层新，岩石单一（如川北地区的地层，多为蓬莱组或遂宁组等，由大套厚层的泥岩及砂岩互层），地质构造简单（一般地层倾角平缓，断层少等）。

关于卓筒井地区，明马骥在《盐井图说》中记述射洪地区，在卓筒井阶段具有代表性，主要分四层：一是浮土，即地表风化层；二是坚石，即砂岩层，产淡



水；三是红石岩口，即红色泥岩层；四是白沙，即白色砂岩层，在此层中，含两层卤水，其上为腰脉水，下为咸水，是主要开采层，总计地层厚度约60丈。

关于小口深井地层的划分。

清中后期，盐井钻凿已进入了小口深井阶段。在这个阶段中，由于生产力水平的大大提高，钻治井工具及工艺的完善，从而加速了向地层深部的开拓。主要集中对自流井构造进行大规模的钻探，卤气资源大量地被开发，于是，深井地质亦被大量地揭露，取得了丰富的地质资料。

自流井构造卤气资源开发历史悠久。据史载，至迟在北周武帝时，已有“大公井”[5]在构造西段掘成，采卤制盐。唐宋时，大公井①及富义盐井等大井闻名全川。明代后期，又在构造轴部区，新开一批自流井投产后，自流井开始崛起。自此，自流井构造卤气的开采，从西段扩展到构造中段，并逐渐向构造东段延伸。清代，因凿井技术的进一步改进和提高，构造深部盐卤及天然气被大量地开发和利用，至清中后期，臻于鼎盛。极盛时期，自贡盐产占全川一半以上。这时，井盐地质得到了迅速发展，并指导盐卤气资源的钻采，18世纪中后期，盐井钻深达500~700米，已钻穿侏罗系下统（自流井群）地层，进入了三叠系上统（香溪群）地层，获取了香$_{二}$及香$_{四}$段的黄卤及浅层天然气。19世纪初，钻深达约800米，钻入了三叠系中统（雷口坡组）地层，获取了雷$_{一}$段的黑卤及天然气。19世纪30~40年代，钻深突破1 000米大关，钻进了三叠系下统（嘉陵江组）地层，获取了嘉$_{五}$段丰富的黑卤（天然气）、嘉$_{四}$段的岩盐及嘉$_{三}$段的天然气。清末民初，该构造钻井总计为13 000眼左右，其中约900~1 000米的井深，已达2 000眼左右②。在钻井过程中，通过“搧泥”（即取岩屑“录井”，俗名取“砂样”），一方面为了提高钻速，加快进度；而另一方面将井底取出的岩屑，进行鉴定，以便直接观察和认识井下地层及其含卤气情况。1876年，清人李榕亲临自贡盐场考察，他在《自流井记》中，实录了自流井构造钻获的地层，从地面（自流井群）到地下（三叠系以上）约1 000米系统的地层、标准层及盐卤、油气资源产层，真实反映了劳动人民对地下深部岩层的认识，描绘了一幅自流井构造地层部面柱状图，显示了自19世纪初至19世纪末，自流井在地层上的重大研究成果，这为我们今天认识和划分清代深井地层，提供了可靠的依据：

“凡凿井，须审地中之岩。井锉初下为红岩、次瓦灰岩、次黄姜岩，见油；次草白岩、次黄砂岩，见草皮火（即少量天然气）；次青砂岩、次白砂岩，见黄水（黄卤）；次煤炭岩、次麻枯岩、次黑烟岩、次绿豆岩，见黑水（黑卤）。红岩者，

---

① 大公井又名贡井。

② 吴炜等编《四川盐政史》卷二记载：“民国三年两场（系自流井东场与贡井西场——作者注）未分之时调查，水火两井共计九百六十眼……而废井则有一万一千八百余眼。”由此便知，当时正在生产的水火井有960余眼，如加上废井11 800余眼，合计12 760余眼（这些井主要是清代钻成或清以前遗存下来的井）。原四川省石油局总工程师胡砺善著《四川盆地自流井构造天然气开采的研究》（石油工业出版社，1957年）认为：我们从无可置疑的史料证明，我国自流井在清道光时，“已经钻达了1 000公尺（米），而井数则是以万计”。原自贡盐务局副总工程师聂成勋《自流井盐业矿山发展梗概》（1983年）中云：“自贡地区气卤井星罗棋布，世界罕见，在采区不到74.0平方千米内，井数达13 000余眼。”其中，约为900米到1000米的井深，已达2 000眼左右。（2003年5月8日，作者最后一次修改稿时，就自贡的井数和井深问题，专访了聂副总工程师，他总的认为：“自贡历史上的盐井和气井数目，是根据有关盐史记载和统计得出来的，可靠性大”）。

红石土也。瓦灰、黄姜、麻枯、绿豆，像其形色也。炭岩之炭，可燃火。烟岩之烟，如细面。凡井诸岩不备见，惟黄姜、绿豆（岩）必有之。"

地层的划分。古人利用岩屑外观的颜色、形态、颗粒、硬度等特征，来划分深井地层，与现代地层分层，基本是一致的，只不过是古今定名不同。现根据《自流井记》，结合清咸丰七年（1857 年）开凿的双全井等，运用现代地质方法，以古今地层对比，兹将清代深井地层划分（见表 9－1）。

**表 9－1　自流井地区地层古今对比**

| | | | 组 | 中文 | 代号 | 英文 | 代号 | 地层厚度 | | 现代地质命名 | 古代盐场俗称 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 界 | 系 | 统 | | 原 | 现 | 原 | 现 | 原 | 现 | 主要岩性 | | |
| 中生界 | 侏罗系 | 自流井统 | 凉高山　组 | 自五 | 新田沟 | $jt_5$ | $J_2x$ | 28～54 | 28～54 | 砂岩夹页岩 | 青砂岩、白砂岩夹红岩 | |
| | | | 大安寨　组 | 自四 | 自流井组 | $jt_4$ | $J_{1-2}x$ | 27～51 | 76～187 | 灰岩夹泥岩 | 灰白矿子夹红岩 | |
| | | | 马鞍山　组 | 自三 | | $jt_3$ | | 37～120 | | 紫红色泥岩夹砂岩 | 红岩、瓦灰岩 | |
| | | | 东岳庙　组 | 自二 | | $jt_2$ | | 12～16 | | 灰岩夹黑色页岩 | 黄姜岩 | 地面标准层 |
| | | | 珍珠冲组 | 自一 | 珍珠冲组 | $jt_1$ | $J_1z$ | 49～71 | 49～71 | 紫红色泥岩夹白色砂岩 | 大红岩、二红岩夹白砂岩 | |
| | 三叠系 | 上统 | 香溪群（今名：须家河组） | 香六 | 须六 | $Th_6$ | $T_3xj^6$ | 12～26 | 12～26 | 灰白色及灰绿色砂岩 | 草白岩、瓦灰岩 | 产少量黄卤及天然气 |
| | | | | 香五 | 须五 | $Th_5$ | $T_3xj^5$ | 64～79 | 64～79 | 灰黑色页岩夹砂岩及薄煤层 | 麻枯岩、烟子岩、煤炭岩及汤汤岩 | 薄煤层 |
| | | | | 香四 | 须四 | $Th_4$ | $T_3xj^4$ | 130～160 | 130～160 | 灰白浅灰色砂岩夹页岩 | 黄砂岩、青砂岩夹麻枯岩 | 产黄卤及少量天然气 |
| | | | | 香三 | 须三 | $Th_3$ | $T_3xj^3$ | 66～91 | 66～91 | 黑色页岩夹砂岩 | 麻枯岩夹草白砂岩 | |
| | | | | 香二 | 须二 | $Th_2$ | $T_3xj^2$ | 98～125 | 98～125 | 灰白色砂夹黑色页岩 | 白砂岩、青砂岩、麻枯岩 | 产黄卤及少量天然气 |
| | | | | 香一 | 须一 | $Th_1$ | $T_3xj^1$ | 114～129 | 114～129 | 黑色页岩夹砂岩、煤线 | 青砂麻枯夹黑烟岩 | |
| | | 中统 | 雷口坡组 | 雷三 | 雷三 | $Tr_3$ | $T_2l^3$ | 17～79 | 17～79 | 灰岩及白云岩 | 灰矿子及白矿子 | 产黑卤及天然气 |
| | | | | 雷二 | 雷二 | $Tr_2$ | $T_2l^2$ | 59～134 | 59～134 | 灰岩 | 白灰矿子 | |
| | | | | 雷一 | 雷一 | $Tr_1$ | $T_2l^1$ | 69～80 | 69～80 | 灰岩及白云岩夹石膏底部为绿豆岩 | 青矿子、白干子底部为绿豆岩 | 产黑卤及天然气底为古今地下标准层绿豆岩 |
| | | 下统 | 嘉陵江组（未完） | 嘉五 | 嘉五 | $Tc_5$ | $T_1j^5$ | 100～116 | 100～116 | 上部白云岩、石膏夹页岩、下部灰岩夹白云岩 | 青白矿子和白干子 | 产黑卤及天然气 |
| | | | | 嘉四 | 嘉四 | $Tc_4$ | $T_1j^4$ | 120～136 | 120～136 | 上部为石膏夹白云岩及岩盐，下为白云岩 | 水晶岩、岩盐、花矿子 | 产岩盐 |
| | | | | 嘉三 | 嘉三 | $Tc_3$ | $T_1j^3$ | 105～140 | 105～140 | 石灰岩 | 青矿子 | 主要产气层 |
| | | | | 嘉二 | 嘉二 | $Tc_2$ | $T_1j^2$ | 76～83 | 76～83 | 灰岩、白云岩夹石膏 | 青矿子夹灰白干子 | |

上表地层，为了便于清楚地了解，依据时代顺序，由地面到地下（约 1 000 米）深的地层系统，可归纳为四个主要方面：



第一，侏罗系自流井统：主要岩层，由自$_{五}$层、灰白色砂岩（俗称青、白砂岩）、自$_{四}$层石灰岩夹暗紫色泥岩（俗称灰白矿子岩、红岩）、自$_{三}$层紫红色泥岩夹黄色砂岩（俗称红岩、瓦灰岩）、自$_{二}$层泥质灰岩夹黑色页岩（黄姜岩）及自$_{一}$层紫红色泥岩夹灰白色砂岩（红岩、白砂岩）组成。该统主要包括灰白或灰绿色砂岩、石灰岩（泥质灰岩）及紫红色泥岩夹砂岩三大类岩石。但其中以泥岩最厚，因此，盐场在凿井时，表层套管（木制）固井，往往封住泥岩（红岩），以防止垮塌及地表淡水渗入。

第二，三叠系上统（香溪群），该统香$_{六}$层为灰白、灰绿色砂岩（俗称草白岩）、香$_{四}$层为灰色或白色砂岩夹页岩（俗称黄、青砂岩、麻枯岩）及香$_{二}$为灰色、白色砂岩夹黑色页岩（俗称白、青砂岩）均产黄卤及少量天然气。其他香$_{五}$、香$_{三}$及香$_{一}$为黑色、灰黑色页岩夹砂岩及薄煤层（俗称麻枯岩、煤炭岩等）。其中香$_{六}$、香$_{四}$及香$_{二}$四层的黄卤及浅层天然气，为自流井构造最早发现和开采。

第三，三叠系中统（雷口坡组），本统分 Tr3、Tr2 及 Tr1 三层。主要岩性为灰色石灰岩及灰色、白色白云岩夹石膏。底部为绿豆岩标准层，与下伏地层 Tc5 分界（俗名青矿子、白矿子、干子、绿豆岩）。其中以 Tr1 及 Tr3 层为主要产黑卤及天然气。

第四，三叠系下统（嘉陵江组），本统在清代中后期，主要凿到的地层为 Tc5、Tc4 及 Tc3 三层。这三层亦是自流井构造盐卤气资源主要产层，因此，居其重要地位。

嘉$_{五}$：白云岩、石灰岩夹石膏（俗名白矿子、灰矿子及干子，见黑卤）。该段为自流井构造主要黑卤产层，其卤比 Tr1 及 Tr3 更丰富。同时，产天然气。

嘉$_{四}$：上部为石膏、白云岩夹岩盐，下部为白云岩（俗名，水晶岩、干子、岩盐、花矿子）。岩盐的发现和利用，为井盐生产开辟了广阔的卤源。

嘉$_{三}$：主要为石灰岩（俗名青矿子，见大火）。该层为自流井构造主要产天然气层，其产量占全构造总产天然气一半以上。

地质标准层——绿豆岩及黄姜岩的确立。

标准层——绿豆岩及黄姜岩的发现和确立，这标志着古代地质分层达到了新的水平。

李榕在《自流井记》云："凡井诸岩不备见，唯黄姜、绿豆必有之。"又说："瓦灰、黄姜、麻枯、绿豆像其形色也。"所谓"黄姜"岩，其形色似老黄姜，故名。所谓"绿豆"岩，其形色像绿豆，由此而得名。尤其地下标准层——绿豆岩，颜色显著，标志奇特，岩层薄（2～3 米厚），层位稳定，分布广（遍及全川），容易被发现等独具特点，以此区别上、下岩层，是罕见的区域性标准层。黄姜岩层位比较稳定，在地面分布亦广。

绿豆岩及黄姜岩是两层较为理想的标准层，其中绿豆岩是地下标准层（但四川有的地方出露地表），位于雷口坡组底，与嘉陵江组分界；黄姜岩是地面标准层。大约在一个半世纪以前，先民们就以它作奇特标志，划分地层，设计地质剖面，指导开发地下卤气资源。特别是绿豆岩，时至今日，仍然作为地质设计，钻探三叠系地层盐卤及油气的标准层（详见本节二、绿豆岩标准层的确立）。





## 二、绿豆岩标准地层的确立
### ——地下标准层与卤气资源的钻探

在北宋以前，大口盐井的挖掘，是采用简单的农业劳动工具。因此，仅能揭露浅部岩层，采汲亦是表层淡卤。自11世纪中叶，以井盐工具为代表的钻井术的发明及发展，截至19世纪初，日臻完备，自贡燊（兴）海井钻深超千米，这不仅创造了当时世界上深井最新记录，而且，从地表至地下，亦揭露了上千米深的地层，这在当时是领先的。我们的先民，在长期井盐、油气（石油与天然气）钻采实践中，不断地总结和积累了丰富的地质科技知识，能正确鉴别、系统划分各种地层，尤其可贵的是发现和确立了标准地层（简称标准层）——绿豆岩层。地层的划分和绿豆岩标准层的发现和确立，为大规模钻探和开发自流井构造及钻采川南诸构造地下深层三叠系的盐卤和天然气（包括石油）资源，起了重要的作用。亦为研究和了解四川的地质发展史和古地理环境有着十分重要的意义。同时对于研究世界井盐地质的起源，也是不可多得的珍贵资料和证据。

（一）绿豆岩的特点

绿豆岩，其色相似“绿豆”，因此，被命名为绿豆岩，“瓦灰、黄姜、麻枯、绿豆，像其形色也。”绿豆岩颜色显著，标志奇特，岩层薄，在自流井构造上，厚度约2～3米。层位稳定，分布广泛，不仅分布自贡地区，而且遍布全川。原生岩石断口具滑感细腻，性脆。它遇水富有膨胀性，变得松软。因此，易于垮塌形成洞穴。所以，打井在遇到绿豆岩时，为确保钻井安全，必须用油灰填补。因绿豆岩属沉积岩中的黏土岩，是三叠系雷口坡组底的岩石，各地埋藏深度不一，如在自流井构造深埋一般约800至1 050米，在威远构造（曹家坝）已出露地表。由于绿豆岩有厚度不大，广布全川，颜色独特，易于发现等独具特点，以此区别上、下的岩层。因此，在地层地质学上是一个罕见的区域性标准层。

（二）绿豆岩标准层在钻探地下矿产资源的作用

1. 绿豆岩的发现与上覆及下伏岩层的关系

绿豆岩是一层较为理想的标准层，大约在一个半世纪前，先辈们就以它的标志，用来开发地下黑卤、油气资源。在自流井构造上，先后钻井多达13 000眼，其中约九百至超千米的井有2 000眼左右，按九百到千米深度计，一般能钻至或穿过绿豆岩。早期钻达绿豆岩的一批井，如，1825年永兴井钻至嘉$_{三}$层，完钻井深约980米，获得日产30 000立方米的天然气。又如，约1855年磨子井也钻达嘉$_{三}$层，约井深度1 000米左右，并发现了日产100万立方米的大气。此外，还有海顺、皂角等井。早期这批井，据完井地层和深度毋庸置疑，全是钻遇到了绿豆岩的。但是，很遗憾，这些井的“岩口簿”即钻井原始记录，不知何故，没有保存下来。因此，有关这些井绿豆岩的钻深、厚度等情况至今不得而知，甚至有可能对绿豆岩早期的发现产生一些误解。

幸好，清人进士李榕在《自流井记》中，较详细地记录了自流井的构造，当时，从自流井统至嘉$_{三}$层约1 000米的系统地层、资源产层及绿豆岩标准层三者顺序与关系。其中特别强调了绿豆岩和黄姜岩两个标准层：“凡井诸岩不备见，唯黄姜、绿豆必有之。”黄姜（即黄姜岩）是地面标准层，绿豆岩为地下标准层。李榕



记载十分可贵。弥补了早期一批井有关绿豆岩标准层史料的遗失和不足。

此外，清（代）同治十年夏（1871 年 8 月）富顺县令吴鼎立亲赴自流井盐场，就所见所闻，撰成《自流井风物名实说》。对盐井起源、井灶分布、钻治井工具、打井方法、制盐技术等做了全面而真实的记载。此文中亦特别实录了绿豆岩等地层：“井下木竹既定，此下须吊锉下捣。其下又有麻枯岩、绿豆岩、又铁板腔岩。至铁板腔之石，较铁尤坚，必捣过铁板腔或数尺、数丈、近十丈，则望可见功矣。”

绿豆岩在地层剖面的顺次、上下层位的关系及其在钻探资源中的作用，见表9－2。

**表 9－2　绿豆岩标准层与上下地层及卤气资源的关系**

| 雷口坡组 | 雷$_{二}$段 | |
|---|---|---|
| | 雷$_{一}$段 | 产黑卤及少量天然气 |
| | 绿豆岩 | 与上下分界标志 |
| 嘉陵江组 | 嘉$_{五}$段 | 产黑卤及天然气 |
| | 嘉$_{四}$段 | 产岩盐 |
| | 嘉$_{三}$段 | 产天然气（气田主气藏） |

**采自：刘德林《卤气资源钻探的标准层—绿豆岩》，刊《盐业史研究》，1992 年第 1 期**

据上述史实载，结合昔今地层对比，可知，前人“利用岩石外观的颜色、形状，生动地分出了地下的地层，研究了油、气、水的层位；也注意了其他种有用矿物如煤炭；规定了标准层的定义，而且找到了两个能够指导百余年以后工作的标准层。这些难道不能证明地下地质学在百年前已为中国地质学家在自流井气田创立了吗?”[6] 同时史实纪录的地层剖面和标准层，对研究“地层学”“岩石学”以及研讨世界地质的创立和起源，也有极其重要的意义。

2. 以绿豆岩为标志钻探地下盐卤和天然气资源

自流井构造，总的讲构造不太复杂，地层厚度比较稳定。但是，地层厚度在构造不同部位（东、中、西部）仍有变化，有的层甚至变化很大。同时，加之构造两翼不对称，地层角北缓、南陡（就是同属一翼地层倾角大小也非相同），因此，在构造不同部位布置新井，则所钻井深度必定有浅有深，浅者数百米，深者超千米。那么，新井钻遇岩层怎样？产层位置如何？完井深度多少？等等，这些问题，在当时没有先进的钻探工具和娴熟的技艺，没有地质科技知识，尤其没有地上和地下标准层控制，确是很难解决的，或者是不可能解决的。

然而，我们聪明智慧的先民以地面“黄姜岩”和地下“绿豆岩”两个标准层为奇特的标志，准确划分地层，设计地质剖面，这个剖面控制了从地面至全套地层，分成两大段。第一大段，从地面标准层黄姜岩算起，至地下标准层绿豆岩止，钻遇地层有自流井统（群）（或部分地层）→香溪群→雷口坡组；第二大段，又以绿豆岩为标志，继续往下钻遇的地层有嘉$_{五}$段黑卤→嘉$_{四}$段岩盐→嘉$_{三}$段天然气。





也有极少数井钻至嘉二段，见红色泥质白云岩，最深达 1 402 米。两个标准层包含了矿区全套地层，其间的地层无论是增“厚”或减“薄”，钻井“浅”与“深”，但地表以“黄姜岩”和地下也必以“绿豆岩”为标志，于是所钻达至目的层及完钻井深等疑题，就迎刃而解了。时至今日，绿豆岩仍然作为地质设计、钻探三叠系地层及盐卤、油气的标准层。胡砺善著《四川盆地自流井构造天然气开采的研究》（1957 年）中云：“这个标准层——绿豆岩正是今天我们在嘉陵江石灰岩中最典型的标准层，100 年前伟大的劳动成果，光辉的指导着今天的油气勘探工作！”

其一，以绿豆岩为标志，钻探黑卤（又名黑水）层。李榕在《自流井记》中说：“钻凿绿豆岩，见黑水。”又说：“二百六七十丈而得咸者，为黑水。”自流井构造的黑卤，主要产于下三叠系嘉陵江组第五段（Tc5）及中三叠系雷口坡组第一段（Tr1）的针孔状灰岩、白云岩中。由此可知，只要钻遇绿豆岩，可钻探两层黑卤，尤以后者（嘉五段）更重要。黑卤层埋深，因构造部而异，一般深度为 900 ~ 1 350 米左右。

其二，以绿豆岩为标志，钻探岩盐层。据有关史料记载，岩盐的发现与发展，同绿豆岩有关。在大坟堡岩盐体“原来在杨家冲、大坟堡一带，开凿黑卤时，凿至绿页岩（即绿豆岩）以下 40 井丈①（折 144 米），井深 250 井丈左右（折 900 米）其岩层既容易倾圮……一般遂呼之为滥岩，或豆渣岩（亦即是岩盐）”[7]。“盐岩虽因地倾斜不同，盐岩有深有浅，但绿页岩（绿豆岩）至盐岩的距离为 40 井丈（但在陡急带上的井要加深——作者注），则各井均一致。”[7] 自此以后，这个岩盐体在杨家冲、大坟堡、周家冲及扇子坝等处，需要继续钻探下脉的一些旧黑卤井，都以绿豆岩为标志，并纷纷向下钻凿岩盐的方向发展。于是，岩盐井如雨后春笋般地发展起来。

自流井构造先后发现和开采大坟堡、郭家坳及大山铺三个岩盐体。其共同特征、岩盐体面积小，厚度薄，呈透镜状，产于嘉四 - 四层（Tc4 - 4）。三个岩盐体，无论新钻岩盐井或利用旧井加深，预计盐层及完钻井深，都是以该井所处部位绿豆岩的深度，结合地层特征和倾角换算为其重要依据。为此，以绿豆岩为标志，钻探岩盐层，则是盐场普遍应用的方法。

其三，以绿豆岩为标志，钻探嘉三主气层。自流井气田三叠系所有含卤层均产气，但以嘉三层（Tc3）产气为主。据统计，本气田累计产气量 331 亿立方米，其中嘉三层（包括喜四层底）产气量 168. 15 亿立方米，占气田总产气量 51%[8]。据气田天然气埋藏深浅不一，盐场分草皮火，腰脉火及底火，吴鼎立在《自流井风物名实说》中述道：火有浅井之火、深井之火及深井之大气之别。尤其提及“深井之大火，则在二百四五十丈或七八十丈。（一丈折 3. 6 米；合 900 ~ 1 008 米）此火不熏人，亦无卤气，火势强旺，可以供数百口灶之用。”这里俗称的“底火”“大火”，即是嘉三主气层。自贡盐场巧匠们，以绿豆岩为标志，钻探嘉三气层，总结出了一套能鉴别有气和无气的地层，“钻绿豆（岩），至红岩层，不见底火，成

---

① 一井丈按 3. 6 米计。



为废井”①。亦就是说，从井下绿豆岩开始（计起），钻过嘉$_{五}$、嘉$_{四}$层（段），再钻完嘉$_{三}$层（段）后，可获底层大火；如果没有钻获底层大火，最终钻至嘉$_{二}$层（段）红色泥质白云岩完井（俗称地层还原，往下再钻也无气了）名曰废井。经钻探证实嘉$_{三}$层分上、中、下三个部位产气，绿豆岩至各部产气位置间距，在此，以郭家坳区三口井为例说明之（见表9－3）。

**表9－3　绿豆岩与钻探嘉$_{三}$段上、中、下三个产气部位的间距（深度）**

| 井名 | 绿豆岩至产气层位置 | | | 初产气量（立方米） | 井深（米） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 绿豆岩深度（米） | 产气位置（米） | 间距（米） | | | |
| 是富井 | 815.52 | 1 009.46 | 193.52 | 60 000 | 1 010 | 嘉$_{三}$上部产气 |
| 新双盛井 | 约828.70 | 1 033.32～1 044.05 | 204.62～215.35 | 约49 000 | 1054.41 | 嘉$_{三}$中部产气 |
| 保贞井 | 848.00 | 1 120.50～1 134.50 | 272.50～286.50 | 约30 000 | 1 135.5 | 嘉$_{三}$下部产气 |

**采自：自流井盐厂《是富井井矿卡片》、《新双盛井井矿卡片》、《保贞井井矿卡片》记载**

由于绿豆岩层标志奇特，分布广，为四川盆地区域性的标准层。所以，它的成因问题必然引起专家、学者们较为关注和考究。多年来，他们经过长期的考察和研究，普遍认为，绿豆岩是由火山灰风化形成的。

## 三、绿豆岩的工业用途

我国井盐地质的开创，始于北宋中期。自宋至清（代），获得了长足进步和发展。1770～1796年，我国在四川自流井构造上，已钻穿三叠系上统（香溪群）底部地层，初步建立了500～700米的地下地层系统。1835年，燊（兴）海井从地表侏罗系自流井群地层开始，至三叠系下统（嘉陵江组嘉$_{三}$段）顶部完钻。该井钻成，不仅是世界上第一口超过1 000米的深井，而且通过搧泥（录井），获取了上1 000米地层剖面，从而建立了一套完整的深部地层系统，同时开采地下深层卤气资源。

当时，国外建立的地层，为地面地层或地下浅部地层，开采的矿产亦为地表或地下浅部矿产。如，俄国罗蒙诺索夫的代表作《地层学》，就是他在野外“亲眼观察的结果”。关于野外地质和矿产的观察，罗蒙诺索夫用诗般的语言，作了生动和真实的写照：“让我们踏遍祖国的土地，去观察各地的情况，把有用矿石从废石中鉴别出来……我们去寻找金、银和其他种种金属；我们去采集各种石头：大理岩、板岩、绿宝石、宝石和金刚石。这不是一条静僻无味的道路，虽然在这条路上并不能到处都会发现宝藏。”[9]

此外，国外钻探的盐井均是一些浅井，因而钻取的地质资料，仅是地下浅部地层。如1838年，美国在卡诺瓦地区打成120眼盐井。平均钻380英尺（折约116米）。为此，井盐地质乃是建立在深钻基础上的，没有深钻地质资料，哪里谈得上地下深部地层系统的建立。在1840年以前，美国和俄国钻采的盐井，井深浅，属于浅井地层，与我国深井地层相比，不可同日而语。

① 盐场凿井工匠口碑。这说明井匠对有气层和无气层有清楚的认识。





## 第二节　先民对“自流井构造”的认识

### ——“地脉说”的创立

先民对“自流井构造”的认识即“地脉说”的创立。它是源于长期对地下气、卤资源钻采经验的升华和实用理论的概括。同时又应用此说为开发地下气、卤资源，提供理论依据。“历史已经证明，生活实践和生产实践与地质学有着密切的直接联系，因为地质学的诞生和发展，就是在采矿工程和日常生活观察感受中积累起来的经验和技术上升为理论性的总结，这些总结又反过来指导生产实践。”[10]位于川南地区的“自流井构造”，地下蕴藏的卤、气矿产资源极其丰富，开采历史悠久，先民们长期在这里凿井取卤采气的过程中，便逐渐产生了对自流井构造的认识。

自流井构造，位于川南自流井凹地最北面，为一个北缓南陡不对称的梳状背斜。以下沙溪庙顶界计，长轴 33 千米，短轴 6 千米，闭合面积为 125 平方千米。地表覆盖着侏罗系地层，地下断层多，裂缝和溶洞发育，有利于气卤资源的动移和聚集。同时，硬软岩层交替，封闭条件好，为三叠系地层储集了极为丰富的天然气及卤盐资源。

该构造开采历史久远，最迟，从周武帝时发现，并凿井采卤，迄至清末，历时长达十三个半世纪，先后钻采卤气井共 10 000 眼。在这个构造上，先辈们以日复一日，年复一年，不分昼夜和寒暑，从地表到地下，由浅入深，勇于向地层深部开拓，揭露和发现了地下奥秘，获取了第一手资料，并经过反复实践，不断探索，启迪人们对地质构造的认识。尤其在小口深井阶段，古人与地下错综复杂的情况作斗争，锻炼和造就了一代又一代凿井技术达到炉火纯青的井匠技师，即所谓的地质“土”专家，其中以盐场著名的井口管事余成文、钻治井技术的一代宗师颜蕴山及井矿工程师熊佐周等为代表。在自流井长期从事地质和钻井的匠师们，“通过长年的劳动，不但使他们掌握了高超的顿钻钻井技术，而且对本构造的天然气及卤水地层有了明确的概念。“如他们对天然气有草皮火①、腰脉火②及底火（嘉$_{三}$层中大量的天然气）之分。他们也知道绿豆岩标准层以上的盐水一般含盐量是多少，以下的又是多少。当某井钻成功后，产什么东西？产量多少？或者某井为何（原因）产量下降？某井产量又为何增加等。”[11]了解得很清楚。几千年以来，先民们在自流井构造上凿井采气取卤，从实践中积累经验并升华为实用理论，开创了“地脉说”。其含义与现代地质“背斜论”相同，仅名称不同。先民应用此说，开发了举世闻名的自流井气、水田。最突出的表现在三个方面：一是地质构造“高点”的确立；二是沿着构造长轴布井钻采天然气；三是对构造裂缝的确定，并沿着裂缝发育地带布井开采卤水。

---

① 香溪群中的浅层天然气，该统原归为侏罗系，现划为三叠系上统。

② 腰脉火，指嘉$_{五}$与雷$_{一}$层中的天然气，两层以绿豆岩分界。110 队研究时，将绿豆岩及石膏归为 Tc6 层。



## 一、构造“高点”的确立
### ——“火井王”磨子井定在高点上

根据原四川石油勘探局110队，对《自流井专题研究总结报告》证实：自流井背斜地面“构造顶点在自流井珍珠寺以南的珍珠冲”，出露地层为侏罗系自流井统东岳庙灰岩及珍珠冲泥岩；地下由三叠系嘉陵江石灰岩组成的构造，其“构造顶点在磨子井一带”。由此可见，地面构造顶点在珍珠冲和地下构造顶点在磨子井一带，两地相近，即地面构造顶点与地下构造顶点大致相对。查古今闻名的磨子井，当时选定井位，为查“地脉”，从大安杨家冲追索到自流井，最后布井在珍珠寺附近①。据史料记载和研究，此井从1850年开钻，至1855年见功，钻到井深约1 000米左右，初天然气约100万立方米/日，实属特大型气井。磨子井“见功”，气压之大，火势之猛，令人称奇，唯我国清代乃古代首屈一指，誉称“古代火井王”。为何这眼井压力之大，产气量如此之高呢？根据石油部门110研究队，应用现代地质方法，绘出自流构造绿豆岩地下构造图证明，发现磨子井的位置正处在构造“高点”即顶点，此处有利于气的储集和富集。因此，该井获得了高产。胡砺善著《祖国石油与天然气史话》云：“四川石油勘探局自流井专题研究队，最近三年（系指1953年至1955年——笔者注），根据古人找到的标准层——绿豆岩，应用最新的地质方法，做出了嘉陵江石灰岩地下构造图，找出了各井位和构造的关系，发现绝大部分产气井都打在长轴附近，翼部的井寥寥无几的。”古人不仅把第一眼大气井即磨子井定在构造顶部即构造“高点”上，而且沿构造轴线及轴线附近进行布井，有计划有目的地钻井和开采，获得了高产气流。说明先民们对自流井背斜（包括“高点”及轴线）有了初步的认识。一区为构造顶点，火井王——磨子井正位于这里②（见图9－1）。

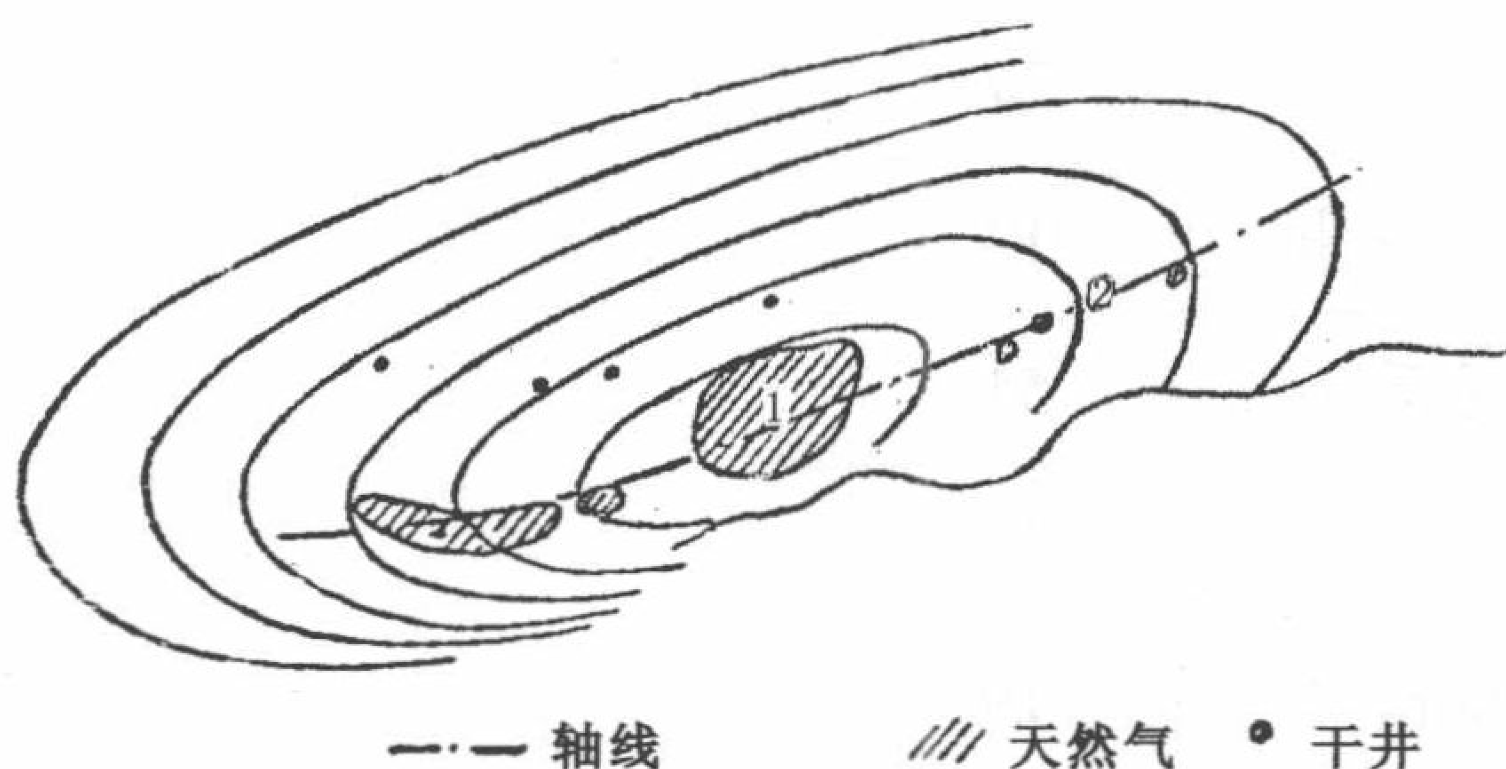



**图9－1　自流井构造“高点”位置**

根据绿豆岩标准层绘出的自流井地下构造图。产天然气的井均集中在长轴附近，两翼钻的井极少。图上的一区是1840年至1850年钻达的火井王——磨子井便在这里。二区是1890年开发的，一平方千米内集中了23口气井　**采自：胡砺善《祖国石油与天然气史话》**

磨子井钻凿成功，为自流井背斜“高点”的确立及其“嘉$_三$层”主气层的发

① 据井管事余福和介绍：“我的曾祖辈（余世光）参加了磨子井的签井”，即选定井位。

② 据胡砺善在图上注释：磨子井钻成时间是“1840年至1850年”。但本书作者研究认定磨子井从1850年开钻，至1855年（钻成）见功。





现，是地下地质理论上的一个重大贡献。这对于四川尤其川南诸构造嘉$_{三}$气层的发现和开发，开了先河。同时由于自流井构造气、水资源大规模的钻探和开采，天然气新能源大量被利用于制盐，为促进自贡盐业的兴起和大发展起了决定性的作用。

## 二、古人对构造轴线的认识
## ——沿着“地脉线”① 布气井

自流井构造的天然气，特别是嘉$_{三}$层的天然气，主要富集地区是在构造“高点”、轴部裂缝发育的地带及沿轴线两端，包括龙潮断裂带和东南翼地下隐伏断裂带等区，明显受构造控制。但是，在历史上的气井，均集中构造顶部，沿长轴及长轴附近。而构造翼部则钻井较少。古时，在自流井凿井致富，一定要请高明的地质家和工程家，俗称管事或山匠“看地脉”（又名“看龙脉”）。不然的话，所钻的井难免是一无所得的干井。因此，“查地脉”，是根据几百年的长期实践，古人凭着丰富的地质知识能观察出构造的轴线了[6]。

沿着构造长轴布置气井。在自流井构造上，钻穿侏罗系，进入三叠系，是天然气开发史上的一件大事。1835 年，燊（兴）海井首战告捷，钻深超千米，进入嘉$_{三}$主气层。1855 年，磨子井在构造“高点”钻成，井深在 1 000 米左右，再次揭示了嘉$_{三}$主气层。自此以后，沿着构造长轴东——西方向拓展钻进，一批又一批气井钻获成功，采区迅速扩大，遍及全构造。现将沿构造长轴的采区及气井列于表9－4。

**表 9－4　自流井构造沿长轴的采区及气井**

| 采区 | 气井数(眼) | 备注 |
|---|---|---|
| 凉高山 | 2 | 郭家坳区，包括土地坡 |
| 大坟堡 | 27 | |
| 东岳庙 | 14 | |
| 豆牙湾 | 51 | |
| 郭家坳 | 47 | |
| 苟氏坡 | 19 | |
| 席草田 | 20 | |
| 合　计 | 180 | |

**采自：林振翰《川盐纪要》（民国八年再版）**

上表，沿构造轴线打的气井计 180 眼，其中以磨子井左右为中心的有 14 眼大气井：以磨子井（即集成井）为中心点，发现自贡区内，能产足煎四五百口锅以上的大火井有（A）天福井、下天流井、龙光井、洪兴井、清江井；（B）永兴井、海顺井、集成井、天富井、正龙井、源流井、春朝井、新双盛井、见兴井等[12]。

① “地脉线”“地脉”俗称“龙脉”；“地脉线”即现代地质学命名的“背斜轴线”。



磨子井的开凿见功和自流井气田的开发，为今天找油气得出一个重要的规律——新构造第一批井位的拟定，必须占高点，沿长轴这条规律的发现和确立，是找气勘探的认识从“经验型”发展到“理论型”的大飞跃。苏联伊万诺夫专家早在40年前讲过：“四川的地质工作，应该永远不要忘记自流井。”[13]自流井构造是许多类似构造的“模型”，并以指导和应用在四川地区，尤其是川南地区气藏的钻探，成效卓著。如在川南地区打鼓场、长垣坝等八个构造上计14眼井中，“高点”井数占43%，长轴亦占43%，二者合计占了总井数的86%（见表9－5）。

**表9－5　川南地区在构造“高点”和沿“长轴”布井成功率高**

| 构造部位 | 高点 | 长轴 | 其他部位 | 合计 |
|---|---|---|---|---|
| 井数（口） | 6 | 6 | 2 | 14 |
| 百分率 | 43% | 43% | 14% | 100% |

**采自：杜仲祥《川南地区卤水天然气综合勘探的前景》（载《井矿盐技术》1983年）**

过去，在自流井构造钻井，首先要由有专门地质知识和钻井经验的人——俗称“山匠”去“查地脉”，也称“看地脉”。所谓“地脉”，不是传说，更不是神话。“脉”作“矿脉”解。这里指地下的气脉或卤（水）脉。因此，“地脉”——指地下气、卤的来龙去脉，即地下气、卤的埋藏规律。早在约150年前，我们的先民已能凭丰富的地质学知识，观察出构造轴线了。旺井集中构造长轴上，这是一个了不起的规律。它对于裂缝性油、气田的重要性，在20世纪50年代初，才被苏联和美国的地质家所提出[6]。为此，磨子井开凿成功和沿构造长轴裂缝发育带布井的规律，我国比苏、美两国要早100年左右[13]。

综上所述，可以得出以下两点结论：

第一，古人对地质构造的认识，即“地脉说”的创立。关于“地脉”，自贡盐场一副对联云：“土中生白玉，‘地脉’出黄金。”

这里讲的“脉”，应作“矿脉”解，特指地下埋藏的“气脉”即天然气矿脉，或“卤脉”即卤水矿脉等。

“地脉”，系地质构造的有利部分，即地质构造气、卤富集的地区，或气、卤富集地带。

“查地脉”，即应用“地脉说”，去实地寻查地质构造的有利部位，如，背斜顶部、轴线部位等都是打气井的有利部位。

第二，古人“查地脉”——沿构造长轴方向选定气井，符合现代地质布井原则。根据绿豆岩作的构造图可知，古人很聪明，“查地脉”——布置“旺井集中在构造长轴上，这是一个了不起的规律”[6]。这与现代地质布井原则“占高点、沿长轴、寻扭曲、找断裂”基本上是一致的。

为此，“地脉说”与现代地质“背斜论”的内涵相同。

## 三、关于构造裂缝的确定

### ——“横缝见水”“立缝见火”

关于构造裂缝的确定，分以下三点：（一）岩层裂缝；（二）“断岩”（即断





层）及“流沙”；（三）“通腔”。现分述于后：

（一）岩层裂缝

在自流井构造遗存下来的“岩口簿”，即地质钻井原始记录中，有大量的关于岩层裂缝记录，如，“裂缝卡钻”“骑马裂缝”“干裂缝”“湿裂缝”“横缝”及“立缝（竖缝）”等，或者明确的记录着“横缝见水”“立缝见火”。

在古代的凿井中，十分重视对井下岩层裂缝的确定，根据捣碓（钻井）、手触摸工具（如，牵引绳）感觉、钻头的痕迹（俗称现号、号迹、条痕等），以此判定岩层裂缝的性质、形状及大小，如，“裂缝卡铿”，其裂缝张口（即宽度）等于或大于铿头直径。硬岩（如白云岩、石灰岩等）裂缝发育，软岩（如页岩之类）作封隔层，对地下资源储集有利。而岩层裂缝发育，又成为气、卤资源运移的通道及富集的藏所。因此，硬岩、裂缝、资源三者往往是紧密结合在一起的。自流井构造就是一个“典型”。钻井的成败，关键在于是否钻遇裂缝，有气、有水必有裂缝。在自流井构造上，气卤富集与裂缝是相生相伴的，如，构造轴部裂缝发育带，西端黄葛坡断层、龙潮断裂带，高产井就是钻遇大裂缝而获大气的。

（二）“断岩”① 及“流沙”

在自流井构造上凿井，如钻遇地层大裂缝，垮塌凶，岩石混杂，有的井钻凿不仅无进度，因垮岩井底回填反涨高，井匠称这段岩层为“断岩”或“滥岩”。清《自流井风物名实说》云：“凡井之病四：有走岩、有崩腔、有流沙、有冒白。”又说：“邱垱（今贡井）多流沙，流沙者水为沙闭遏也。必下木窗以隔之，若冒白，则成废井，法不可医。走岩、崩腔，近来有用油灰可以补好。至流沙冒白，则成废井。唯邱垱之井……即多遇此。”同时，盐场在长期开采地下资源的过程中，已总结出了一条宝贵的经验：“黄水（卤）推沙，黑水（卤）推气。”根据地质研究“流沙”或“推沙”一般出现在地下断层或断层破碎带上，并伴随着黄水流出来的“岩沙”，因此，井上工匠称之“流沙”。黄水主要产于上三叠统香溪群的香$_{二}$层及香$_{四}$层中。在断层上钻井，如钻遇流沙，沙量少者，有法“可医”；沙量多者，又“冒白”，无法“可医”，“则成废井”。如，贡井双塘地区的坤洋井，加深至542.88米处，钻遇断层“流沙”，大量的淡（卤）水及“流沙”从断层里涌入井底，不能钻进，改用推水搧沙，前后经历一年多，由井中推出的细砂倒在地面，堆积成了一座小山，但井内的“流沙”仍源源不断涌入井里，同时加之地层破碎，垮塌严重，为此，该井只好长期停搁。黄葛坡断层带上盐井钻采时流砂较为普遍（见表9-6）。

① 盐场俗称“断岩”，系现代地质学称的“断层”。



表9-6 黄葛坡断岩（断层）流砂代表井

| 开凿年代 | 井名 | 流砂、滥岩及全井深（米） | | 简要说明 |
|---|---|---|---|---|
| | | 流砂滥岩深 | 全井深 | |
| 开钻1879年，完钻1884年 | 三阳井 | 615 | 777 | 生产时，有大量细砂及岩块(称流块)随水流出 |
| 开钻1883年，完钻1918年 | 咸宗井 | 613 | 约860 | 与上同 |
| 开钻1905年，完钻1915年 | 正德井 | 350~410 | 1 031 | 盐岩段（断层带）垮塌凶，同时间细砂流出 |
| 开钻1887年，完钻1896年 | 怡生井 | 500及700 | 776 | 流砂呈灰白色 |
| 开钻1875年，完钻1885年 | 元吉井 | 576 | 807 | 有大量流砂及流块涌出 |
| 开钻1905年，完钻1915年 | 坤洋井 | 542.88 | 573左右 | 流砂最多，源源不断流出 |

注：据原四川省石油勘探局110队《自流井构造盐井调查原始资料》（1955年）及作者调查

故，古人称的“断岩”，或“滥岩”与现代地质命名的“断层”含义相同。“流沙”是伴同淡（卤）水，从断岩即是“断层”中流到井底的细粒岩沙，简称“流沙”。由此可证，至迟在清代，先辈们对构造断层已有认识和判断。同时，对在断层带上凿井出现的“井病”，亦有确切的描述。

（三）通腔

前面已说到，自流井构造地下断层多，裂缝发育，连通性好，这反映在新凿井和生产井之间，或生产井之间连通（或叫干扰）非常明显，盐场把这种连通现象，俗称“通腔”。关于“通腔”，就井而言，有气井之间的通腔；有黑卤井之间的通腔；有岩盐卤井之间的通腔。就构造部位而言，有在构造轴部裂缝发育地带的通腔；有在断层带上的通腔。就产层而言，有在气层中（如嘉$_{三}$层）的通腔；有在卤层（如嘉$_{五}$层）中的通腔以及岩盐溶腔里的通腔。

1. 构造轴部裂缝发育地带的通腔

在历史上，采区之间通腔特别显著[11]。主要表现在：当火井沱区一些气井钻成功，东豆区的气井，就出现产气量减少。郭家坳区一些气井“见功”，而火井沱区的气井，立即产气量大幅度下降。土地坡区一些新井完成，而郭家坳区的气井，产气量锐减。形成一个采区的气，强拉另一个采区的气，形成构造低处采区，强扯构造高处采区的气。但即是在同一个采区内，气井之间的通腔亦较为普遍。如，土地坡采区，新双盛井离双全井138米，又离载福井118米，均有显著的通腔现象：当新双盛井内发生事故时，该二井的产气量有明显增加。这种通腔现象，自贡盐场工人形象地比喻成“拖被盖”。但是，无论是采区与采区之间，或同一个采





区气井之间通腔，多与构造轴线方向平行。

2. 断层带上气井之间的“通腔”

如东源井与邻井之间通腔，就是例证。东源井位于构造西端轴线上，地下主要有黄葛坡断层切割产层，裂隙发育，气流运移畅通，容易聚集。因此，该井于1889年开办（盐厂认为在1858年前后开凿），到1935年钻至935.88米完钻，获气3万立方米/日左右，先后与德成、福临、宝荣、玉龙、兴源、福龙、心源、生成、富隆、集成等20余眼邻井通腔[14]。因而，本井长期高产、稳产一个世纪，成为盐场一眼奇井，至今仍在生产。

3. 岩盐卤井之间的通腔

以大坟堡岩盐体为例，该盐体，1825年至1891年初步发现。到1892年在发源井加深中进一步发现，自此以后，岩盐井如雨后春笋般地发展起来，井架林立，遍布盐区，至清末民初，整个盐区化穿连通，形成一个大溶腔。当时，为了掌握注水（又名渡水、灌水）的规律，考察注入的淡水在大腔里的流向，林振翰著的《川盐纪要》（民国八年再版）一书，生动地记载了盐腔连通情况：“甲井入水而不见水，乙井不必入水，水反源源而来，推而至于丙、丁，莫不如是……一日某井中以粗糠（谷壳）和水入井试之，果由他井汲出，因知盐岩溶化，逐渐沟通。遂共同商议，于四十余眼盐岩井中，只以一二井专司灌水。”其余各井专门采卤推汲，由此出现了注水井和生产井的分工。

用“粗糠和水”混注入井，证实岩盐溶腔连通，以便掌握注水规律，为岩盐开采服务。

自流井背斜构造，开采历史悠久，从约6世纪起，大公井凿成投产，便揭示了地下资源开采有序幕。经过一千多年的钻采，证实该构造是一个裂缝性的气水田。在150年以前，我们的先民们在这里钻采气卤时，就已经发现和认识了这个规律。1850年至1855年，在这个构造上钻获了我国古代第一眼大气井——磨子井。初产时，日产天然气达100万立方米。经现代地质研究证实：原来，先民们把这眼井的位置定在了构造轴部的“高点”上。由于构造轴部张裂缝发育，井位处于构造顶部，因此钻获了古代最大的一眼气井。从此，我们聪明的祖先，以这眼井为中心，沿着构造长轴布置气井，于是，获得了一批又一批的高产气井。

关于卤水井的钻采，先民们提出：打“断岩”（即今命名“断层”），钻“裂缝”“横缝见水”“断岩水丰”。古代自流井构造的开发，主要是在地下构造裂缝发育地区，因而，获得了十分丰富的卤水资源。

世界上对裂缝油气田的研究，起步很晚，从20世纪50年代中期开始的。例如，苏联A·A·特拉菲姆克院士，发表了《关于裂缝性油储容积估计的问题》一文（刊《石油工业通讯》，1955年第7期）。该文云：“在探勘油气田的过程中，常常可以发现属于裂缝性油潴的油气藏。这类油潴的容积即为沿各个不同方向使岩层劈裂成为开口裂缝，在致密岩中发育的裂缝就会造成集中可采的油气潴藏。开口裂缝一般产生于褶皱、穹隆、鼻状构造、断裂地块及其他种在形成过程中受到张力的构造的顶部附近。”

“美国地质学家哈别尔特在1955年国际石油会议上作了裂缝油田储油条件的



报道。”[13]另有美国地质学家孟尔盛，根据天然气比重轻、黏度低、极易流动等物理特性，提出在正规孔隙性气田只在构造顶部钻一口井，可以把该气田的天然气全部采出[13]。

由上说明，我们的先民们，在近一个半世纪以前，已经认识了裂缝性气水田的规律——俗称“地脉说”，并运用“地脉”规律，成功地开发了“世界上第一个气田”[13]，即自流井气水田。为此，我国比国外认识和开采裂缝性油气田要早一个世纪。

## 第三节　自流井构造的气卤资源概况

自流井构造主要有黄卤、黑卤、岩盐及天然气四种主要矿产资源。该构造的气卤资源，具有藏量丰富，矿种齐全，多层重叠，有卤气兼采，也有纯气层独采，主要产层埋藏较深的特点。当时，一些人来自贡盐场考察，写的访问记及编的志书，对此有明确的、详尽的记载。

**一、天然气（又名“井火”，简称“火”）**

（一）井火分三层

天然气，在三叠系所有含卤层中都产气，但主要产于嘉陵江组第三层灰岩中。（清）县令吴鼎立在《自流井风物名实说》记叙较详，具有代表性：“火有大小之别，浅井之火。多则十余口，少则七八口，三五口，甚有不足一口者。其色白而不红，其质柔而不刚；深井之火，有二百一二十丈，卤气甚大，与黑水之气无异，熏人眼目，……深井之火大，则在二百四五十丈或七八十丈，此火并不熏人，亦无卤气，火势强旺，可以供数百口灶之用。”（清）《四川盐法志》云：“锉至二百丈，常有火出。……深出大火……至二百八九十丈，近三百丈，见火必大。”“若深及三百丈”而水火不旺者，“谓之弃井”。

为此，古代把自流井构造的天然气（俗称“井火”或简称“火”）分为三层：即“浅井之火”又名浅层天然气，或草皮火，产气量少，一般产量300～1 000立方米/日。产于上三叠系香溪群的香$_{六}$、香$_{四}$及香$_{二}$层中，埋深400～700米；“深井之火”，又名中层天然气，或腰脉火，产量较大，一般产气3 000～5 000立方米/日，最大产气量可达30 000立方米/日，主要产于中三叠系雷口坡组的雷$_{一}$、雷$_{三}$及下三叠系嘉陵江组嘉$_{五}$段层中。埋深900～1 300米左右；“深井之大火”又名深层大火或底火。一般产气量数万立方米/日，最大可达100万立方米/日，产于下三叠系嘉陵江组嘉$_{三}$段层中，埋藏一般为1 000～1 350米。此层为该构造主要产气层。

（二）开发简史[15]

该构造是世界上最早开发的气田，其开发历史与卤水资源同步，即从北周武帝时，大公井凿成投产，标志着开发浅层天然气的伊始。

北周至宋初时期（561—1040年），这个时期挖井浅，主要开采上三叠系顶部气卤层，即采集香$_{六}$中的黄卤，并利用少量的天然气煎盐。

北宋初至清乾隆时期（1041—1796年），由于圆刃钻头的发明，开创了卓筒井

工艺、并随着钻井工艺不断的改进和完善，钻井深度的增加，至清雍正、乾隆时期，井深已达500~700米。以开采上三叠系中、下部（即香$_{四}$及香$_{二}$）的天然气及黄卤，这时，多为气卤同采，如清雍正八年（1730年）钻成的永通井，可一井所产的天然气已经能烧16口盐锅了。

清嘉庆、道光时期（1796—1850年），这个时期，上千米的深井相继出现。自流井构造已钻穿了上、中三叠系地层，进入下三叠系Tc4层底，主要开采Tr3、Tr1和Tr5天然气及十分丰富的黑卤。如1836年，凉高山泗通井钻获嘉$_{五}$层天然气，采气范围向构造东部扩展。但同时在1825年永兴井及1835年兴海井揭示了Tc4底部气层，且用大量的天然气制盐。

清咸丰、同治时期（1851—1874年），钻入下三叠系嘉$_{三}$层，获得丰富的天然气，如1855年，在构造顶部磨子井见功初期日产气多达100万立方米。自此，自流井气田开发进入新的阶段。1851年至1880年，主要集中在构造顶部开发。1890年，沿构造长轴延伸到郭家坳地区。1930年向西由郭家坳移到土地坡，并向东拓展至大坟堡地区。郭家坳、土地坡一带，仅约一平方千米范围内，集中20余眼井。这些老气井，初期日产气共计达30~40余万立方米。并经过长期开采，至20世纪50年代初，仍然日产气在12万立方米以上。

嘉$_{三}$层气井，集中沿构造长轴分布（历史上，主要分布在轴部地带）。

（三）底层火与中层火的特征

自流井构造蕴藏的天然气极为丰富，纵深产层多由浅至深，主要有香$_{六}$、香$_{四}$、香$_{二}$、雷$_{三}$、雷$_{一}$、嘉$_{五}$、嘉$_{四}$底及嘉$_{三}$计八层。但其中又以嘉$_{三}$、嘉$_{四}$底为主要产气层，其次为嘉$_{五}$、雷$_{一}$及雷$_{三}$层。

在历史上，嘉$_{三}$气层产量大，最大日产气100万立方米，同时埋藏深，故称“底层之大火”或“深井之大火”，为自流井构造最主要产气层，一般不产水，因此，又名“纯气层”或称“干腔火”。

该层天然气在钻采过程中或利用制盐时，因突然发生故障，工匠受到其侵袭，一般没有生命的危险，因此，他们认为这种气体“不毒人”。为何嘉$_{三}$气体“不毒人”？根据多眼老井聚气样分析，嘉$_{三}$气体组分的特点是甲烷含量高，另外，硫化氢、二氧化碳、一氧化碳等含量极少。

嘉$_{五}$气层，产气量比嘉$_{三}$层小，最多日产气达3万立方米。产层埋藏位于浅层火和底层火之间，因此称为中层火或名腰脉火及深井之火。本层气水共生同层、同采，故此又称“水火井”。嘉$_{五}$层气体，毒人凶猛，可窒息至人死。据清人李榕在《自流井记》中云：“德成井火卤气熏人至死。”又说：“如海井水卤气亦熏人至死。”据嘉$_{五}$层气样化验证实：含硫化氢极重，燃烧时火焰呈红黄色，盐场工人称“烟子火，又名硫黄火”，同时含二氧化碳较浓。

总之，根据含$H_2S$、CO等含量的多少，燃烧时火焰的颜色、毒人的凶猛与轻微程度等，即可将嘉$_{三}$与嘉$_{五}$层的天然气相区别。为了便于了解以上两层天然气中$H_2S$、CO的含量，列于表9-7。



表9-7 嘉$_{五}$层及嘉$_{三}$层（段）天然气区别

| 含气层 | $CH_4$（体积%） | $H_2S$（体积%） | CO（体积%） | 燃烧火焰 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 嘉$_{五}$ | 84.37 | 5~7 | 0.20 | 红黄色 | 富隆井 $H_2S$ 为6.75 |
| 嘉$_{三}$ | 93.58 | 0~0.50 | 0.18 | 绿红色 | 如昆龙井 $H_2S$ 为零 |

采自：四川省石油勘探局110队《四川盆地自流井专题研究总结报告》（1955年）

## 二、黄卤与黑卤

### （一）黄、黑卤的特征

黄卤：主要产于上三叠系香溪群第二段及四段的长石石英砂岩中。黑卤：主要产于嘉陵江统第五段及雷口坡组第一段的针孔状灰岩、白云岩中。清人李榕在《自流井记》里写道："白沙岩，见黄水……绿豆岩，见黑水。"同时又说钻井浅者："井及七八十丈而得咸者，为草皮水"；深者："井及百二三十丈得咸者，为黄水"，黄水咸量一般为100~160克/升；再深者："井及二百六七十丈而得咸者，为黑水"，黑水咸量约为180~240克/升。由此可知，卤水咸量随井深、层位、岩性不同：盐井浅者出黄卤，黄卤咸轻，卤咸变化大；井深者产黑卤，黑卤咸重，卤咸稳定。

黄卤及黑卤，均系天然卤水。在古代开发和生产中，先民根据卤水的埋深浅、颜色及咸量等不同，以此分别命名为黄卤及黑卤，其名称沿用至今不变。所谓黄卤和黑卤，根据现代化验分析和物理检测，其特性：

黄卤：因含氧化铁（$Fe_2O_3$）等杂质，水质被浸染，因而，颜色呈浅黄色，且透明，但静置时沉淀无色，故名黄卤。同时，组分中含锶、氮、钡等。无硫酸根、硫化氢、甲烷。总矿化度，一般为100~160克/升。酸碱度 $pH<7$。产于香溪群的香$_{二}$、香$_{四}$及香$_{六}$层中。

黑卤，由于被硫化铁杂质所浸染，并含硫化氢极浓，因此，颜色呈黑色、半透明，故称黑卤。静置久时有黑色沉淀，水成钢灰色。组分中，还含氮、甲烷、硫酸根、锶等，不含钡。总矿化度为180~240克/升。卤咸一般稳定，长期生产、不发生变化，因此，盐场人称"铁板咸"。酸碱度 $pH>7$。主要产于嘉$_{五}$、雷$_{一}$及雷$_{三}$层中。

### （二）黄、黑卤资源开采的总量

黄、黑卤资源的开采，最早是从开发浅层黄卤开始的，并经历了漫长的岁月，才由浅入深，向地下纵深开拓，钻采深层黑卤。从6世纪至18世纪末，以开采上三叠系香溪群中的黄卤；19世纪初至本世纪中叶，主要开采雷口坡组及嘉陵江组（第五段）的黑卤；19世纪中叶至本世纪末，大量开发嘉$_{五}$层的黑卤，进入鼎盛时期。

自流井构造，开发历史悠久，盐井星罗棋布，构造开采老区约60平方千米范围内，平均每一平方千米布井已达200多眼。清末民初，根据卤、气井布局，全构

造划分八大生产区；即苟氏坡、黄石坎、席草田、凉高山、大坟堡、东岳庙、豆牙湾、郭家坳。该构造，黄、黑卤开采，据不完全统计，历年累计开采：

黄、黑卤资源3.9亿立方米，折6.77亿标立方米，再折固体盐6 770万吨。[8] 其中推算黄卤为56 844.4万标立方米，折计固体盐5 684.44万吨，① 占总固体盐的84%；黑卤，为10 855.6万标立方米，折计固体盐1 085.56万吨，② 占总固体盐的16%。

**三、岩　盐**

该构造于1825年至1892年，最早发现和开发大坟堡岩盐体，其后相继又发现郭家坳及大山铺岩盐体。三个岩盐体共同的特点是：岩盐体面积小、盐层薄，分布在构造轴线南翼局部地段，呈透镜状产出，产在嘉$_{四}$层中（分1~2层盐、钻厚1~25.7米），埋深870~1 350米。

关于我国古代岩盐的重要发现、岩盐钻井水溶法的创建及采收率居世界先进水平等，详见本卷第六章“清末深层岩盐矿体的开采”。

**四、卤气资源与地质构造的关系**

先民在自流井长期钻采卤气中（钻井上万眼，历时经千年），发现了地下岩层“立缝火”“横缝水”等特征，并从中得出一条重要的、普遍的规律，即卤气在地下的富集、运移、变化与构造裂缝（盐场俗称“地脉”）有关。所以，自流井历史上找卤气，是在构造裂缝发育地区布井，钻探地下卤气矿产资源，则可靠性大，成功率较高。

经现代地质研究和长期生产证实，自流井构造从地面到地下，全构造有十断层（盐场俗称“断岩”），其中仅有二条断层出露地表外，其余八条断层隐伏地下。因此，黄卤、黑卤及天然气盛产于构造轴部、黄葛坡断裂带及东南翼地下断裂带。该构造卤气的富集规律，印证了先民们得出的实用地质理论——“地脉说”。

含水层和隔水层，在纵剖面上，相间重叠，交替出现。构造上部侏罗系泥岩层、隔绝了地面淡水与地下卤气层的联系。香溪群共六层，含、隔水层分明，即二、四、六层砂岩为黄卤及天然气产层，而一、三、五页岩为隔水层。中、下三叠系雷$_{二}$、嘉$_{四}$层中的石膏、泥质白云岩，属隔水层；雷$_{三}$、雷$_{一}$及嘉$_{五}$层为白云岩、灰岩，为黑卤及天然气共生，水气兼采。嘉$_{三}$灰岩为天然气产层。由于隔水层封闭良好，因而产层一般自成一个单元。井间的连通亦只限于本层内，不与其他层相通，但在黄石坎区，因断层切割产假黑卤，出现了上下层间连通现象。

黄黑卤水和天然气，有不同的构造部位和产层，产量差异甚大，即是在同一产层，产量也相当悬殊。其富集和产出，与裂缝发育程度密切相关，受构造断裂控制，在平面上呈带状分布。为此，根据本构造地下资源的富集和产出，位于地处不同的构造部位，划分为三带：

第一，构造轴部裂缝发育带。该带于明代中叶，为开辟新的卤源，新凿了以

---

① 原著者聂成勋，在报告（见本章参考文献［8］）中自注：黄卤产盐，因历史古久，史料较少，“统计数据不准确，仅供参考”。

② 黑卤产盐，其“数据可靠程度高”。



"自流井"为代表的一批盐井。明嘉靖年间，自流井采区，即有盐井，又有火井。明末清初，自流井地区井数猛增，盐井遍及构造轴部地带，开采香溪群中的黄卤及天然气。清道光初（约1821年）钻穿香溪统进入三叠系地层，开始在构造顶部开采黑卤。于1855年，磨子井钻深约1 000米，至嘉$_{三}$段地层，喜获"大气"兼"水油二种"[16]。接着，先后又一批新井在构造轴部钻成，"海顺井可烧锅七百余口，水、火、油三者并出"[16]；"双福井水亦昼夜喷千余担"[16]。在此，特别值得注意的一点：上述这些著名的井，不仅钻获了嘉$_{三}$层的"大气"，而且还钻获了嘉$_{五}$层中丰富的黑卤，可谓气水两旺矣！自此以后，由构造顶部沿轴线附近向两端拓展，包括：土地坡、郭家坳、东岳庙、豆牙湾、杨家冲等区，产出集中在构造轴部裂缝发育带"长6.35千米，宽0.35～1.20千米的地带"[13]。

第二，黄葛坡断裂带、龙潮断地带。该地带开发比轴部地要早，于北周武帝时，古贡井已相当有名了。明万历年间，在火井坡（今达德井岩盐区，正位于断层带上）开采香溪群中的天然气，开始纳入国家课税的范围。1874年，开发贡井地区黄葛坡断层的黑卤，1882年，长源井加深，钻获嘉$_{五}$层天然气及黑卤，1964年，源丰井用传统钻井技术加至嘉$_{四}$层底，进入嘉$_{三}$层顶主气藏，而获"大气"。先后沿断裂带钻井的地区，主要有：苟氏坡、黄石坎、度草田、张姚二山等，"长10千米左右，宽0.8～2千米的广阔地带"①。

第三，东南翼地下隐伏断裂带。20世纪初，凉高山泗通井钻至974.4米，获取嘉$_{五}$层中的黑卤及天然气，于是，便开始了这个地带的开发史，从此，沿断裂带布井钻探，卤气同采。顺断裂带长7千米，宽约0.5千米的地带。

总之，自贡地区气卤资源极其丰富，为井盐生产提供了可靠的资源保证，因而，自贡成为全国著名的井盐生产基础，素有"盐都"的美称。

地下资源的发现和开发，除了早期极少数浅层卤气资源用人工掘井及开采外，其余绝大多数丰富的深层卤气资源，要全靠钻井揭露被发现而获得开发。1840年以前，四川自贡地区的气卤资源钻采深度已超过1 000米。在纵深地质剖面上，发现了四种有工业价值的矿产资源并且产层交替出现，相间成层，共计13层。其中黄卤发现三层，产于三叠系上统香$_{六}$、香$_{四}$及香$_{二}$层中；黑卤发现主要有二层，产于雷$_{一}$及嘉$_{五}$层中；天然气发现六层，均产于三叠系中，即上统三层，中统二层及下统三层，但以下统嘉$_{三}$层为主。这些深层气卤资源主要的特点：

一是纵深产层多。在钻探1 000米的地层中，发现了气卤资源多13层，但产层埋深不一，浅者数百米，深者900～1 000米以上。在这里，对于深部多层气卤资源的发现和开发，反映了我们的先辈们高度的睿智和伟大的创造精神。

二是生产老区在横向平面上呈条带状。自流井气水田，属于裂缝性贮集。黄卤及浅层气产于砂岩层中，其贮集及运移属于孔隙裂缝型。黑卤及天然气，产于灰岩，白云岩层中，属于岩溶裂缝型。气卤的富集主要与裂缝发育程度有关，而裂缝发育程度又受产层岩性及后期构造作用控制。为此，生产老区（根据历史上遗存下来的老井、旧井及废井看出）在平面上呈条带状，主要分布在构造核心部

① 据自流井构造图黄葛坡大断裂带计算。

位、东南翼地下隐伏断裂带及西段出露地表的黄葛坡大断裂带等。

史家证明，生产老区即老井及废井顺着裂缝地带分布，反映了先辈们过去对裂缝地带（俗称“地脉”）有明确的查识和了解。

三是一井多用，分层开采。先民们根据矿区的地质特点，采取了合理开发及有效利用气卤资源。如黄卤与浅层气同采；黑卤和中层气兼采；并利用旧井加深至盐层，开采岩盐或钻探底层气即开采嘉$_{三}$层主气层。这样，一井多用，开采多层资源，即节省了大量的工程费用，又不浪费宝贵的矿产资源，做到物尽其用，大大提高经济效益，谓之“一举三得”。

地下地质的研究，其目的是要发现和开发深层卤气资源。1840 年以前，四川自贡的卤盐矿床采深突破 1 000 米，并发现了有工业生产价值的矿产资源四种，产层共计 13 层。这时，在国外，开采的天然卤水矿床（包括泉卤和井卤），属于地下浅层卤水，矿种单一，产层少。而我国则属于地下深层卤气矿床的开采，因此，矿种齐全，产层多，资源富。在地下深层资源的发现和开采方面，我国古代遥遥领先于国外。

## 第四节　古代开凿盐井对井位的选定——先民对地下卤气资源贮藏规律的识察及其布井的方法

在古代盐井开凿过程中，尤其明、清时期，小口井开凿划分相山、开井口、下石圈、凿大口、下木竹、凿小口、搧泥等诸多工序，其中以“相山”或“相井地”或“签井”（俗称）——选布新井井位，则是首要的工序，而且，井位选定正确与否，又是决定开办成功与失败，有无生产价值的关键。而我们勤劳智慧的祖先，在长期开采地下矿产资源的实践中，已积累了丰富的经验，这种经验加以系统地和科学地总结，终于形成“识齐水脉”“看榜样”“查地脉”的布井方法。并以此法为先导，在地下资源和有利部位，广开盐井及气井，为川盐的大力开发和迅速发展，起了积极的作用。

### 一、“识齐水脉”

关于“识齐水脉”，目前学术界意见不一，但根据史实和专家学者一般的解释，可分为两个方面进行研讨：（一）释“识齐水脉”；（二）“识齐水脉”及布井位。现分述于下：

#### （一）释“识齐水脉”

据常璩撰《华阳国志·蜀志》记载：秦派“李冰为蜀守，冰能知天文、地理……又识齐水脉，穿广都盐井诸陂池，蜀于是盛有养生之饶焉”。李冰根据“识齐水脉”的地质知识，开凿了我国井盐史上第一口盐井，即“广都盐井”。

1. 关于“识齐水脉”句中“齐”“齐水”及“脉”的释义

其一，就“齐”来讲，有多音、多义。可通“脐”“跻”“资”及“剂”等字。这里的“齐”作为“剂”之假借，即“剂”字解。考《周礼·天官·盐人》



云："盐人……凡齐事，煮盐以待戒令。"汉郑玄注云："齐事，和五味之事。"可知"齐"即是调剂、混合的意思[17]。众所周知，成书于春秋战国时期的《考工记》载有："金有六齐：六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧金之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金、锡半，谓之鉴燧之齐。"可见，"六齐（剂）"，就是按铜、锡及铅不同的配比成分，得到不同用途的合金"六齐"规律。

其二，"齐水"。关于"齐"的释义，即是调剂及混合的意思。于是"齐水"则理解为泥沙与水混合在一起的水；或咸卤与淡水混合在一起的水，即卤水（盐水）。又据《华阳国志》卷四"定笮县"云："白摩沙夷，有盐池，积薪以'齐水'灌而后焚之成'盐'。"以"齐水"制成盐一语看来，这里指的"齐水"，应作卤水或盐水解。

其三，"脉"，在盐井史籍里颇多。据《云阳县志》（卷一·古迹）记述：扶嘉和女共同开凿盐井："其女示以井脉处，掘出遂得盐井九，民共立嘉为井主，至令为云安井神。"《舆地记胜》（卷一六六·长宁军）载："盐井，在盐城北，井之咸脉有二。"明徐光启《农政全书》第四册卷二十载有："察泉脉。"缪秋杰著《川盐概略》（民国二十八年本）讲："冰察地脉，知有咸泉。"自贡盐场古今有"井老水枯，捣办（或锉）下脉"之说，于是"脉"在此即作"矿脉"解，地下的"矿脉"如人的脉络一样。不过，"井脉""井之咸脉""下脉"等指一个井内的"矿脉"即狭义的"矿脉"。而"识齐水脉"的"脉"，指一个区域地下的"矿脉"，即广义的"矿脉"。

2. 对"识齐水脉"一句的释义

上述分别对"识齐水脉"句中的"齐""齐水"及"脉"作了释义，那么，何谓"识齐水脉"？作者认为，对"识齐水脉"，虽仁者见仁，智者见智，但应考察其此句的"本义"所在，要从"识齐水脉"与上、下文句（"李冰为蜀守……穿广都盐井"）相关联予以理解其含义。据史料记载及有关著述中，涉及"识齐水脉"一句的释义，《水经注》卷三三里有句名言"李冰识察水脉，穿县盐井。"胡砺善在《四川盆地自流井天然气开采的研究》（1957 年）中云："李冰已经有'识齐水脉'的地质知识。""认识了地下盐水的规律，于是在成都一带（双流）钻成了盐井"（胡砺善《祖国石油与天然气史话》1957 年）。周国荣编《中国钻探发展简史》（1982 年）释道："识齐水脉，就是考察卤水脉的意思。"申力生主编的《中国石油工业发展史》（1984 年）谈道："钻井，首先要确定井位。……识'脉'，也就是要根据地质条件来确定井位。""李冰了解盐卤水的脉络……在广都开凿盐井"等等。综上所述，"识齐水脉""识察水脉""认识了地下盐水的规律""考察卤水脉""识脉，也就是要根据地质条件来确定井位""了解盐（卤）水的脉络"，虽说法各异，但基本释义一致。作者认为，"识齐水脉"，在这里，也就是李冰应用其渊博的地学知识，识察地下卤水（或盐水）脉络分布的规律即卤（盐）水富集地区，然后在卤（盐）水富集地区或富集地带，选布井位，开凿盐井。

（二）"识齐水脉"及布井位

如何“识齐水脉”，并非一日之功，而是在长期凿井过程中不断认识、发展及完善的。早在六七千年前的原始社会尤其在龙山文化中晚期的夏禹之际，蒙受重大河患，促使凿井的发展，人们远距河流而生活和生产。“盖华夏建国……故凿井之术，特别发达，要亦时势使然。阙后历代沿革，对于穿凿之法，砌井之法，以及汲水之术，迭有发明。”[18]因之，“识齐水脉”“凿井技术”在我国历史古远，自原始社会至战国末年，历时约有四至五千年，在这漫长的岁月中，得到了长足的进步和发展。于公元前250年左右，秦昭王特派李冰为蜀守，把北方凿井，治水技术带到了四川。同时，他知识丰富，善于总结劳动人民“依山可作井，隔沟不同脉”的经验，在川西成功地开凿了广都盐井和修筑都江堰水利，使四川成为“天府之国”。

“凿井须选择适宜地点。所谓适宜者，其水源须富，水质须洁，且在可能之内，穿掘时须少意外之困难也。凡此均赖于地质及地理之考察”[18]——“识齐水脉”也。

关于“察于地理”，早在《周易·系辞》中就有记载：“仰以观于天文，俯以察于地理。”《淮南子·泰族训》云：“俯视地理，以制度量，察陵陆、水泽。”之后，班固（32—92）编著的《汉书·地理志》，则是我国第一部用“地理”命名的地学著作。足见，我国的天文、地理起源很早。地下水（包括盐水和淡水），都埋藏在地下岩石的裂缝、孔隙及岩溶中，它的运移、储藏及富集受地质条件的控制，地下浅层水也受大气降雨量的影响。数千年来，劳动人民在长期的治山、治水及打井活动实践中，根据山区、平原及河谷等不同地方，寻找地下水，已积累了极其丰富和宝贵的经验。这些经验在民间有口皆碑，世代相传，成为“识齐水脉”的法则——识察地下水的运移和富集规律，并在地质条件适合的地方，流出地表，形成奇特的标志。由于史载李冰“识齐水脉”不详，为我们今天研究带来了难解的疑题。但根据我国北方打井技术和四川开盐井传统的布井法，即可得到启迪。

“识齐水脉”的规律，根据地形、地貌等特点，水苗标志及植物生长等，寻查地下水的规律。

首先，根据地形、地貌等特点“识齐水脉”。这是我们祖先长期实践、积累找水方法的精辟总结。其主要史载和作者考察时采集有：

“牛头对马岭①，不出贵人出盐井”[19]；“山谷之民，相地凿井”[20]；两溪夹一梢，昼夜十八包”[21]；上为阳水（淡水），下有咸水”[22]；“依山可作井，隔沟不同脉”[23]；“山嘴对山嘴，必定出广水②”[24]；“山弯对山弯，长年有水打不干”；

---

① 即指如像牛头对马岭的地形特征，古代井匠选择这样的地形布井和凿井，可靠程度较大。

② 极为丰富的卤水（盐水），但卤水较淡，川北地区俗称“广水”。

②1985年，作者曾参加自贡市盐业历史博物馆考察队，赴川东、北盐业考察时，采集的民间世代相传口碑。如，川北蓬溪盐区，井匠视山坡和山脚（低洼处）布井和凿井。又，1987年6月，川北大英盐场生产管理员相世元，专程来自贡盐业历史博物馆维修和清理卓筒工具（文物）时，作者采访了他有关卓筒井的开凿和生产等，其中他谈到“度脉”（即布新井位）。“咸井选在山上（高处）”“广井选在山下（低处）”，一般都能打出盐水。



“咸水藏山坡，广水出山脚”；“看榜样”，布凿新井[25]。

其次，根据水苗标志“识齐水脉”。表层水距地面甚近，虽然不能直接观到，但可根据地下水升到地面一些水苗标志，了解推测地下水埋藏情况，其标志有：盐碱田，有盐泉；烂泥田，有水源；地面常湿不干，地下流水不断；如果在平坦的旷野，出现白天热，傍晚凉，次日早上雾茫茫的情形，显示出此处地下可能有水；地下如果出现春季解冻早，夏季较凉爽，冬季雪易溶，则该处可找到地下水；在地表的山谷或山脚，常有潮湿或有水渗出的地方，植物枯死，有盐霜，这标志着地下有盐水（见《机井技术》，河北人民出版社，1973 年）。

再次，根据有些动物活动和植物生长“识齐水脉”。

观察动物活动找地下水：如，蚂蚁洞多，并连成洞群，附近有地下水。但黄蚂蚁多的地方是淡水；黑蚂蚁多的地方是咸水。两栖类动物蛙或蛇冬眠的地段及大雁或小燕常飞行路线的下面，有时也有地下水露头。在夏季蚊虫集聚成柱，来回盘旋，可能有地下水冒出（见《机井技术》，河北人民出版社，1973 年）。

根据有些植物生长的地方找地下水：叶大根深的植物，如，芨芨草、黄花菜、马莲、芦苇、柳树、水芹菜及三棱菜等生长茂盛的地方，可能有地下水。

根据“地貌”“地质”“水苗”“动物”“植物”的方法“识齐水脉”，是我国劳动人民数千年来凿井、治水智慧的结晶，因而是十分可贵的。并且这些可贵的经验，在有些地方迄今仍在沿用。

据了解，北方许多地区缺水，至今仍采用打井开发地下水。如，淮河以北的平原地区，开采量占水资源的30%左右，而海河平原地区则占70%[26]。可见，地下水开采占的比率之高。虽然，现在钻采地下水的手段与选定井位比古时先进，但“识齐水脉”有些沿用了传统的方法。

我国有数千年的文明史，历代王朝都实行“以农为本”“重本抑末”“重农抑商”的政策，并在这种政策的导引下，不少仁人志士潜心钻研“农耕技艺”，为发展农业尽心尽力，乃至奋斗不息，尤其在治水、凿井方面做出了杰出贡献。为世代颂扬。如果说战国末期以李冰为卓越代表，那么，到明末就是优秀科学家徐光启。

徐光启（1562—1633）字子先，号玄扈，上海人，43 岁中进士，曾任翰林院庶吉士，与外国传教士利玛窦（1552—1610 年）等结识，共同研究地学、水利、天文、数学等，同时合作翻译了许多科技论著。在他一生的著述中，以《农政全书》为最重要。全书共 60 卷，50 余万字，是他数十年心血的结晶，为我国古代农著之大成。

关于“察地脉”和凿井技术，徐光启在《农政全书》第四册卷二十中，将凿井技术总结为五法，即“凿井之法有五”，按凿井步骤，应分为：（1）“察地脉”，即“识察水脉”，也就是考察地下水脉的分布；（2）“择地”，在考察地下水脉的基础上，选好井位；（3）测量井的“深浅”，即根据泉脉埋藏的情况，设计凿井的深度；（4）“避震气”，即打井时要注意地质结构及安全；（5）“澄水”，即地下水通过细沙的过滤，以提高水质。总之，《农政全书》第四册卷二十记述的凿井“五法”，从考察泉脉、选井到凿井见泉水的全过程，与《华阳国志·蜀志》记载




“识齐水脉”是一脉相承的。

这里顺便提及一下，盐水与淡水的关系。盐（咸）水与淡水两者都是流体，并埋藏在地下不同深度岩层的裂缝、孔隙及岩洞中，根据开凿及生产井盐的一般规律，盐井主要分两大段，上部为淡水，所谓“阳水”；下部为盐水。李冰“识齐水脉，开凿广都盐井”，恰恰是总结和运用了北方民间长期积累寻找和开凿（生活饮用、农业灌溉）水井的经验，从而为四川盐业伊始，取得了新的进展。可知，找地下淡水与识察地下盐水有某些相似，亦即是说，寻找地下盐水的规律，可从察视地下淡水的规律得到启示。

**二、“看榜样”布井位**

从“识齐水脉”到“看榜样”，是先民们在开凿地下卤（卤水或盐水）、盐（岩盐）及油气（石油和天然气）资源的过程中，选井布井方法的一个巨大进步和发展，也是钻探深部资源选布新井位的重要规则。如果说，自战国末迄北宋初，大口盐井的开凿，以“识齐水脉”的方法布井，那么，到宋初至清末，布井的新方法，则是采用“查地脉”、“看榜样”了。“查地脉”、“看榜样”也是为了“识齐水脉”，主要是识齐地下深层之淡水脉、盐水脉及油气脉。

关于“看榜样”，有两点需要研讨的：（一）“看榜样”的意义；（二）“看榜样”定井位。

（一）“看榜样”的意义

李冰“识齐水脉”，开凿广都盐井，这口盐井的开凿成功，为中国井盐生产开了先河。但遗憾的是盐井的规格尺度没有记载，以致我们今天也无法确知。如根据出土的汉画砖上标明的盐井、楼架、盐灶、煎锅及工匠采卤等形象，并以工匠人身的高度与楼架及悬吊汲桶绳索的比例关系。大致可测算出盐井深度约 20 米，口径 2 米左右。由此推测广都盐井与汉代画像砖盐井基本相同。同时，由于广都盐井的见功，可知“识齐水脉”四个字，主要概括了识察地表附近浅层卤水（或淡水）的规律。大口盐井，从它的形制和结构上类似过去农庄（村）常用的饮水或农业灌溉井。众所周知，大口盐井的特点是口径大，井身浅，而且井身形制和结构不规范，大小不一。当然前已述及，像陵井这样规模浩大，工程艰巨，是大口盐井的典型代表，仅是少数。为此，大口盐井，浅者仅几米，深者达 250 米为限。由于这类盐井一般较浅，地质构造简单，地层单一。所以，先辈们根据地形地貌特点，植物生长、动物活动及盐水露出地表等，以“识齐水脉”，选布井位，一般准确、可靠，成功率高。当然，凿井也不能百分之百的奏效。

自 11 世纪中叶，由于中国钻井技术的发明，卓筒井钻深一般在 100 ~ 300 米。随着钻井技术的发展和完善，至 19 世纪初，在四川自贡地区，盐井深度超过了 1 000米。井深的增加，地质条件的复杂，主要产层矿产资源埋藏较深，如黑卤埋深在约 900 ~ 1 300 米，天然气为 1 000 ~ 1 350 米左右。为此，地下深部卤气的富集、储藏规律，在一般情况下，就不能用识察地下浅层卤水（或淡水）的规律，以确定井位。因地下深层资源的钻采，工程浩大，钻凿艰辛，耗资甚巨，浅井（数百米）以千计，深井（超千米）以万计。甚至“每开一井至数年，工费甚巨，而终有不及泉者”[27]。若一旦井位误定，则将造成全部钻井工程报废，一切亦将付



诸东流，给投资者带来重大的经济损失。足见，新钻盐井或油气井的选定，在井盐生产中，占有举足轻重的地位，历来备受盐商的重视。因此，为何要“看榜样”，可得出如下三点认识：

第一，盐井开凿，若选定井位正确、可靠，凿井“见功”，有生产价值，则可获得丰厚的经济效益；否则，凿井将前功尽弃，造成人力、物力及财力上重大的损失。所谓凿井带有极大的冒险性和风险性，其根源亦在于此。因此，新凿井位的选定，在盐井开办中，是最关键的环节。

第二，深层资源的钻采，首先选布井位，而何处有水和有气及富集规律如何，很难作出准确的预测。可见，当时井位的确定之难。为了把井位选准，尽可能减少失误，所以需要“看榜样。”

第三，由于主要产层资源埋藏深，地层复杂，裂隙多，所以开凿艰辛，每开一井，常程数年、或十余年，有数十年，更数代而才见功的，也终有不及泉者。而且开凿工费甚巨，浅者上千，深者上万。为了开井“见功”或艰辛劳动不致白费，节省工费，所以，也需要“看榜样”。

（二）“看榜样”定井位

在盐井开凿各个工序中，选定井位是一大难题，而且伴随着井深的增加，地质构造的复杂，选定井位的难度就越大。为解决这个难题，我们聪明智慧的祖先，在长期认识自然、改造自然，向地下深度和广度进军中，科学地总结和提出了一条行之有效的方法，这就是“看榜样”。“看榜样”定井位法，虽然在清代《四川盐法志》卷二中记载并传至迄今，但是，最早可追溯到大口盐井时代。

在大口盐井时代，四川不少盐井的开凿，是因地下浅盐水沿着地层裂隙，自然涌出地表形成盐泉，被动物舔食或被人们发现，然后，在盐泉基础上围泉砌石、或稍稍加深、或大量挖掘、或穿石作井。以“盐泉”为标志，确定其大口盐井的井位和开凿，于是，“盐泉”就是其大口盐井的“榜样”。如《舆地纪胜》（卷一六七·富顺监）载：“井主梅泽（夷人）……因猎，见石上有泉，饮之而咸，遂凿井至三百尺，咸泉涌出，煎之成盐，居人赖焉。梅死，官立为祠。”又如，盐源盐泉的发现和白盐井的开凿。据光绪《盐源县志》（卷一〇·人物·仙释）记述，“开山姥姥：塌耳夷女……牧羊之役。羊饮于池，迹之，见白鹿群游，尝其水而咸，指以告人，因掘井汲煎，获盐甚佳，即今白盐井也。”

卓筒井发明后，卓筒新井井位的布置和钻凿，是在“原井侧”旁，以“原井”为标志定井位，即是“看榜样”。虽然史籍记载太少，但是总有蛛丝马迹可寻。据李焘《续资治通鉴长编》（卷九七）记述，于元祐四年，“成都府路现管盐井一百六十余井，立为定额……若遇咸泉枯竭，许于原井侧井卓取水，以补原额井数，依条差官権定，认纳课利”。由此主要说明两点：第一，因卓筒井（私井）的发明，打破了官井独霸垄断的地位，侵害了官井的利益。于是，统治者对卓筒井实行禁止、封闭的政策，而经过卓筒井户的抑制和斗争，终于在元祐四年，被迫承认卓筒井法的存在：“不部大井及卓筒，并不禁止。”第二，在“原井侧”布置新井。卓筒井经过长期生产，地下卤水出现“咸泉枯竭”的情况，原井被淘汰，另增新井补数，并“许于原井侧开卓取水”。足见，“原井侧”定为新开卓筒井的井

位，即“原井”就是新开卓筒井的“榜样”。同时，要领会“许于原井侧开卓取水”一句的另一深刻含义，官府规定在“原井侧”开凿新井，是为了钻井有把握，完井后，井里要有水可取，不致落空，目的为了“以补原额井数，依条差官榷定，认纳课利”。不难看出，在“原井侧”即“看榜样”新开卓筒井，则具有生产价值。

自清初至清末，盐井的钻采已进入了小口深井阶段。清道光中叶，盐井钻深超千米，则是这个阶段成熟的标志。“看榜样”定井位，成为钻探深井卤、盐、气资源重要准则。所谓“看榜样”，据《四川盐法志》卷二科学地释道：“开井宜择山旁有井者，居中度焉，曰‘看榜样’。”即是说，新井的井位，应该确定在已有生产能力的几个井的中间，俗称“看榜样”。《四川盐政史》（第二篇第四章第三节盐井之开凿）云：“当初凿井之时，先度地势……采取地脉惟凭经验或成井已多产卤，旺之地而凿之。”谭旦冏著《中华民间工艺图说》（1956 年）述道：“凿井，在自流井，名曰办井，择地办井的第一个目标是跟踪别人，在已见功的浓卤、烈火井附近找地点。”

由上可知，“看榜样”是跟踪别人，在几眼浓卤、烈火井中间或侧旁布新井位。总之，“看榜样”，言简意赅，内涵丰富，反映了深井地质和地下卤、气富集地带。

第一，由已知到未知。即由已知“见功”的井，到未知新钻的井，这符合地质科学推理的原则，在理论上是成立的，在实践中也是行之有效的。

第二，由地面到地下。“看榜样”在地面则首先视盐井或气井开采，其井采出的多少、产量的高低、质量的优劣，这恰恰与一个地区或地段地下资源的富贫密切相关，可为布井的方位提供依据。

第三，反映了地下地质特点。已成功的井，无论卤井或气井，一般都处于地质构造有利部位，裂缝发育地带，同时储集条件好，连通性能佳，利于地下资源的运移和富集，因此，资源甚丰，反映了地下地质特点。当时，在地质科学水平所限及各种仪器设施不具备的条件下，“看榜样”定井位，真是一个绝妙的方法。当然，也难免出现井位过密，开采不合理的现象。

第四，以“榜样”井为标志，凿井减少风险。自贡盐场开凿深井，有“井深一丈千黄金”之说。倘若钻井落空，将会带来巨大的经济损失，因此，风险很大。如以“榜样”井为标志，开凿新井，可靠性大，成功率高，则可减少冒险和风险。

总之，“看榜样”定井位，从古到今沿用，在川盐矿山开发中，起了重要作用。“看榜样”是从已知到未知，符合地质勘探找矿原则，在理论上是成立的，在实践上也是行之有效的。这里，我们再来看看自贡盐场是怎样“看榜样”布新井位的：

“自贡面积百余方里，火井达四百七十六口（眼），尤以自流井郭家坳区为最盛，往往五丈、十丈之间，即有二井。按井户习惯，井之开凿常规‘榜样’而定，如甲井产火极旺，另一井商遂该井之傍凿乙井，以分其利。”[28]“由于（自贡盐场）枧商处于井、灶之间的地位，可以操纵一切，左右逢源，以形成垄断之势……他们办井，往往选择他人办成有水、火地方，搞所谓‘骑龙截脉’。”[29]罗



筱元是盐场的富翁，跻身于自贡“新四大家族”之列，当时在盐场上有“小诸葛”之称。不仅在社交活动中颇为出众，而且企业管理经营也有方，在新井布置前，对已有的生产井，反复周密地调查周围状况：“如系盐岩（应更为岩盐——作者注），了解其是否（岩卤咸量）逐渐转淡，是否直当渡水经过的道路，推量是否减少；瓦斯（天然气）灶，则了解其火力是否日衰，附近是否有新凿之井将要成功”[30]等，在调查基础上最终选在高产井附近定新井位，待新井钻成后，以分享同层资源之利。

“看榜样”实例。

例一：以“火井王——磨子井”为榜样，新钻火井（天然气井）。“火井王——磨子井”钻出大气后，启迪了人们继续向深部地开凿嘉$_三$主气层。并以磨子井为“榜样”“在磨子井地基侧新锉海顺、海旺（两井）锉出大量瓦斯”[31]。“火圈口数：海顺、海旺两井五百余口。”[31]（正常时，折日产天然气约 50 000 立方米）“当时自贡盐场一般情况是火多水少，灶户争购卤水，卤价不断上涨。但李（四友堂）、高（陕商）的企业则有水无火。自海顺、海旺两井出火后，就李四友堂说，也形成火多水少，于是，又大量购卤，煎制火花（盐）。”[31]由于海顺及海旺的井位，布置在磨子井的井基附近，锉出的天然气并用于制盐，获得丰厚的利益，这为李四友堂以后的发展，步入“黄金时代”，“为自贡近百年来著名的盐业大家族之一”，富甲于蜀，奠定了根基。

例二，以发源井为“榜样”，钻凿岩盐井。大坟堡岩盐体，于 1825 年至 1891 年，在钻采黑卤井中，有一些井钻入或钻穿盐层，由于当时黑卤丰富，黑卤流入盐层，溶解岩盐，黑卤与岩卤同采，取名“咸黑卤”。1892 年以后，黑卤枯竭，发源井在加深中进一步发现岩盐，正是缺卤之时，于是，在杨家冲地区，一些井户深受鼓舞，并纷纷相继起复老井，加深旧井及开凿新井。于 1894 年，李伯斋在发源井东面相距 140 米的天全（泉）井加深探寻岩盐又喜获见功[32]。从此，岩盐井如星罗棋布发展起来。总计先后钻井 198（其中报废和未利用的井有 26 眼）眼，累计开采岩盐 903 万余吨，采收率高达 92.52%①，创造了世界水溶开采之奇迹！

**三、“查地脉”定井位**

“查地脉”选定井位或曰布井位。“查地脉”在井盐史籍里都有记载，而且在自贡盐场广传，有口皆碑。“看榜样”与“查地脉”（也有叫“看地脉”或“看龙脉”）选定井位，是一个问题的两个方面，前者是在已“见功”几眼生产井中间或附近的地方开凿新井；后者是在无生产井或距生产井较远的地方布置新井，钻凿盐井。当然二者亦有关系。那么，何为“查地脉”？简单地讲，即是应用“地脉说”（其内涵与现代地质“背斜论”相同）②，去现场实地选定井位，钻探盐井或天然气井，如在四川自流井构造上，先民们把气井选定在构造顶部及构造轴部等，卤水井布置在地下裂缝发育地带，因而获得了高产的天然气和丰富的卤水。“地脉说”的创立，为“查地脉”选定井位，开凿盐井或气井，提供了依据（详见本章

① 见本卷第七章参考文献［19］。

② 详见本章第二节先民对“自流井构造”的认识——“地脉说”的创立。





第二节先民对自流井构造的认识）。

## 第五节　自流井的发源地及开发利用

自流古井（下简称“自流井”）早期为四川及我国井盐史上一眼著名的盐井。其后，井名演变成地名，由自流井与贡井①两地合称，产生了一座盐城，即今自贡市②。同时以自流井命名的“自流井构造”，地下蕴藏卤、气资源③之丰富，开采历史之悠久，为世界罕见。因而，自流井从古到今，备受世人关注，中外专家、学者赴自流井进行地质研究、经济调查、旅行考察等络绎不绝，著作和研究成果颇丰。本节，主要考究自流井的发源地及其开发利用。

**一、自流古井出现的年代及其发源地**

据史籍记载，自流井至迟出现在明嘉靖十八年至三十三年（1539—1554）这段时期。当时，由于富义、邓井等盐井，出现卤源枯竭，井内岩层坍塌废弃，为增补税额，政府鼓励民间开井。于是，自流井等一批盐井，正是在这个时期得到开发。明嘉靖礼部郎中熊过在《答李令论税粮驿传盐策册籍四事书》一文中，两次明确提到“新开自流井等井”：

“富义、邓井各盐。某井见煎塌逃，故井见在，灶丁各若干。新开自流等井课程，某井权课若干，可抵旧井额课，坍塌虚赔者作何除免。新增者、兑补者有无足额？前件本县盐策之议：富义、邓井，久在坍塌，其新开自流等井，课程自可兑补原额。无井灶丁，自可径免虚赔。……有时地脉损减，更烦裁省。”[33]明嘉靖工部尚书张瀚在《松窗梦语》卷二中云：“内江、富顺之交有盐井，曰：‘自流’新开，原非人工所凿而水自流出，汲之可以煎盐。流量大，利颇饶，多为势家所擅；有油井，井水如油，仅可燃灯，不堪食；有火井，土人用竹筒引火气煎盐，一井可供十余锅，筒不焦，而所通盐水辍沸，此理之难解者。”另据清乾隆《威远县志》（卷三）述道：“嘉靖中，自流井煎盐卤务，多需威（远）煤孔亟，邑民于此设立炭厂，盖取清溪通舟之便也。”

由上史载可知：第一，在这里，早前曾有过“原非人工所凿而水自流出”的一眼盐井，故名自流井；第二，明嘉靖时，已经“新开自流等井”。说明不止一眼井了，而是新开一批盐井了。为此，第一眼自流井，最迟出现在明嘉靖时期；第三，这时不仅有盐井，而且有油井及火井“一井可供十余锅”，折日产天然气1 000方立方米左右；第四，第一眼自流井，按井型属大口盐井。之后新开的一批自流井，应属于卓筒井即自喷的盐井。为此，自流井从狭义讲，系最早的第一眼

---

① 贡井，又名大公盐井，系一眼古盐井，北周武帝时，已由井名演变成地名，即大公盐井设置公井镇（今贡井区），唐武德元年（618 年），公井镇升为公井县，于地置荣州。

② 原自贡市，于 1939 年由自流井（原属富顺县）和贡井（原属荣县）两地合称建市。下辖九区，城市面积为 160.9 平方千米，总人口为 235 192 人。今自贡市，系 1978、1983 年，相继分别将荣县及富顺县全部归划自贡市，下辖四个市辖区、二个县。全市地域 4 328 平方千米，总人口为约 320 万人，市人民政府设在自流井。

③ 气，系天然气。卤，即卤水，包括：黄卤和黑卤及岩卤。前两者为天然卤水，后者由岩溶解而成称岩卤，也称人工卤水。



盐井。从广义讲，指一批盐井。

据查阅史料确认，自流井发源地遗址，具有可靠性并有确切的记载，有清代同治时吴鼎立在《自流井风物名实说》述道："新桥下，下桥上，名为火井沱河岸，有井自流盐水，故曰自流；或曰有不见功之井，倏①然涌出（盐水），非关人力，以是得名。"还有简阳玉荷山樵甫所著《自流井·第一集》也说："古有自流井系一古井，在郭家坳上桥火井沱河岸，本一泉穴，由地涌出盐泉。"这里清楚地告诉人们：自流井发源地遗址，在郭家坳火井沱河岸，盐水由地层裂穴（隙）从地下涌出地表，形成自流（盐）井。

由上所述，足见，自流井至迟出现在明代嘉靖年间，发源地遗址，在火井沱河岸。

建国后，为了科学研究和盐场生产发展的需要，专门对自流井构造历史上的旧井和老井，进行了三次普遍的、详细的大调查，都一致确认自流井发源地（遗址）是在郭家坳火井沱河岸。

第一次大调查是四川石油勘探局110队，从1953年至1956年，对自流井构造进行专题研究。在此期间，对郭家坳地区分段绘制出旧井和老井位置图，并将自流井发源地（遗址）标定在釜溪河西岩略图上。这就比前人口碑和用文字记载更加确切、更加具体了，从而对自流井发源地遗址的认识，比过去迈进了一大步。

作者实地调查自流井遗址。这眼井出现明嘉靖年间，迄今已有四个多世纪了，由于河流的变化，其井位不是位于釜溪河"河岸"，而是位于釜溪河"河床"（靠西岸）的浅滩上。而且它的遗址已被河水淹没，同时又被河岸垮塌的巨块砂岩所压盖，枯水季节，河水退缩，巨石和河床裸出地面。它的西南方向是洪井，西北方向为源流井，其位置与这两眼井相距最近（见图9－2）。

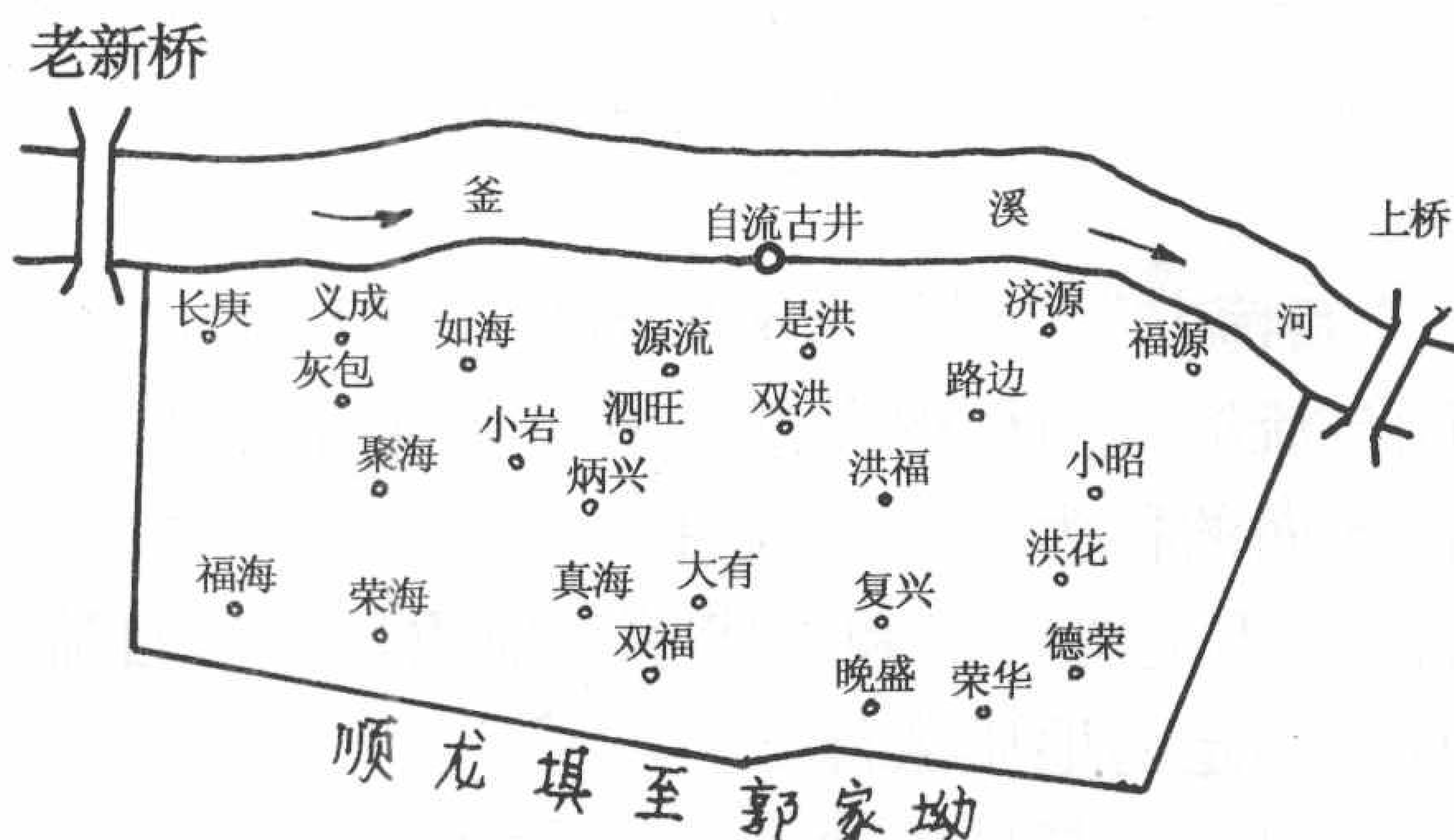



图9－2　自流（古）井遗址

采自：四川省石油勘探局110队《郭家坳地区分段绘制旧井位置图》

第二次大调查是1957年。20世纪50年代初，自贡盐场卤气资源十分缺乏，为迅速发展盐业生产，挖掘自流井构造卤气资源的潜力，以满足制盐生产的急需。于是，1957年，自贡盐场专门组织在盐场工作数十年、且有丰富经验的技术干部、老井口管事、老工人等，又对自流井盐场的旧井和老井进行大调查。在《郭家坳井矿资料调查汇总表》上，明确记载了"自流井"三个字。

第三次大调查是1958年至1959年，兴起"全民办井"的热潮。当时提出起复老井，加深旧井，调查废井，开辟新的气卤资源。因此，在这全民办井的热潮

① 倏，读音 shū。原义为犬疾行。这里释为盐水的流速很快的意思。





中，这口古井之王——“自流井”，再次名列金榜载入史册。由此可以认定，自流井发源于郭家坳火井沱置信无疑。

总的来讲，以文献记载和前人口碑，确认了自流井的发源地和存在，同时根据自流井遗址（实地）地质因素的考察，又为自流井的成因和存在——发源于火井沱河岸（河床的浅滩上），提供了充分的、可靠的地质根据。火井沱（自流井遗址）有利的地质条件：第一，地貌特点，特别是河流切割形成河峪，地层出露最老，香$_{六}$含盐水层距地表最浅，有利于自流井形成；第二，自流井位于自流井构造轴部地带，张裂隙十分发育，因此，岩石裂隙为地下盐水自流涌出地表形成良好的通道；第三，在早期阶段，由于轴部地区，地质构造没有被破坏，地层压力很高，正处高压阶段。因此，地下盐水在地层压力的作用下，自喷（涌）出地面，形成自然盐泉，地层压力是自流井成因的自然动力；第四，郭家坳地区（包括火井沱）在历史上不仅天然气开采很丰富，而且盐水也较为丰富。因此，盐水是自流井成因的物质条件。也就是说，距地面浅处（火井沱地下香$_{六}$层）的盐水，在地层压力的作用下，盐水沿着岩石裂隙上升，自然流出地表，形成自流盐泉。人们在盐泉的基础之上再经过适当地开凿大口浅井——自流井。从广义讲，自流井不仅包括最早的第一眼自流古井，还囊括一批新钻的自喷井——自流井。

**二、自流井及其开发利用**

所谓“自流井”，古人云：“内江、富顺之交”，有新开“盐井……而（盐）水自流出”[34]地面。又“火井沱河岸，有井自流盐水，故曰‘自流（井）’……以是得名”[35]。

“自流井”，现代水文地质称“承压水井”，一般指开凿在承压含水层中，地下水能自流溢出地面的井或钻孔，但地下水在井或水层顶板以上一定的高度，而不溢出地面的称为“半自流井了”。有人将“自流井”和“半自流井”统称为“自流井”。上述为古代和现代水文地质科学对自流井的解释，可见，自流井的形成需要具备一定的地质条件。

至迟，盐都自流井于明代嘉靖十八年至三十三年（1539—1554 年），在自贡釜溪河西岸火井沱开凿成功。并且这时不止是一眼自流井了，而是“新开自流等井”即一批自流井了。至明末天启年间（1621—1627），“自流古井”的钻凿和生产，总计井数（已增加到）“三百八十眼”[36]，呈星罗棋布，遍及自贡地区。自流井迅猛的发展，地下承压水层的卤水大量开采，为明代后期井盐业的繁荣，做出了积极的贡献。

明代后期，在这块宝地上，自流井之所以能进行大规模的开采，其原因是与自流井所处的地理、地质位置及开发有利条件相关的：一是承压水层埋藏较浅（在构造轴部地区即当时的主采区，钻深数十米至 400 米左右，可达香$_{六}$、香$_{四}$承压水层），在钻探工程方面有利于自流井的开发；二是承压水层原始压力较高（这时，在构造中，东段尚未开发，原始地层压力没有破坏），卤水通过井眼能自然流出地面；三是地下承压卤水贮藏极为丰富，为自流井的钻采提供了雄厚的物质基础和源泉。由于以上优越的条件，于是，自贡自流井获得了空前的发展。自此（至清代），自流井著称，闻名于世，殊荣中外。



在古代，四川很多盐井，都是在盐泉基础上开凿而成的。如，西汉初，川东新凿白兔盐井①；晋太康元年，川南梅泽（夷人）开凿盐井②等。这些盐井，按自流井地质的含意，应属自流井。尤其川东云安白兔盐井，自西汉初，在盐泉的基础上凿井、采卤、制盐，历时二千余年，长兴不衰，至今井卤液面还保持在地面井口附近。

国外自流井的开凿，始于12世纪初。中国钻井技术在11世纪中叶发明，约11世纪末传入欧洲，导致1126年在利勒斯（Lillers）附近钻探第一口自流井的诞生③。1841年至1857年，法国巴黎开凿自流井很盛行。如格仑耐尔（Grenlle）之自流井及巴黎之帕塞自流井等，都是很有名的大型井[18]。

中国开发自流井，始于大口盐井时期，16世纪中叶兴起，新开了一批自流井，17世纪初达到鼎盛，自流井闻名于世。为此，中国开发自流井历史，比国外要早千余年。如，以1539年至1554年自贡开发自流井算起，亦比1841年法国巴黎近郊开凿的第一口自流井（即格仑耐尔之自流井），要早约300年。足见，中国是世界上开发自流井最早的国家。

自流井的开发，不仅有重要的井盐地质及水文地质意义，而且具有重大的经济价值。当一口自流井建井阶段完成，交付生产，地下水通过井眼或钻孔能自流喷涌出地面，则不需要动力设施等进行开采，可大大降低生产成本，提高经济效益。当然，地下水在井内产层顶板一定的高度，不能自流溢出地表时，则需要安置机器动力加压并将井内的地下水采出地面。通过地质调查和研究，在地质条件具备的地方，开采自流井却是很有价值的。

## 第六节　凿井“岩口簿”的建立
## ——古代地质和钻井原始记录

凿井“岩口簿”的建立，不仅标志着我国古代井盐地下地质和钻井技术的成熟，而且有着最翔实、最丰富、最系统的井盐地质及钻井工程记录，具有重大的价值，至今仍是世界地质和钻井宝库中最珍贵的财富。所谓“岩口簿”，其最主要内容和重要作用，《四川盐政史》卷二载道：“考察是何地质，用簿登记，名为‘岩口簿’，以备他日修理井身稽考之用。”林振翰在《川盐纪要》民国八年再版本）中云：“各井开凿时，均有簿册，以纪（记录）地层之形状物质及土色，不得考究井脉，且以备他日补漏之用，按册记载尺寸深浅，以施人工地。”“岩口簿，也就是自贡盐务钻井过程中有关钻井、地质、试水、试气、淘修井的工作日记。钻井和淘修过程中一切现象，都记录在里面，因此，它是研究工作中最宝贵的材料。”[11]可见，“岩口簿”记录的内容极其丰富，涉猎范围非常广泛。因此，其内涵可囊括古代地质和钻井综合的原始记录，或云盐井历史档案，自贡盐场俗称

① 见第三章第五节“大口盐井采卤实例——川东现存西汉白兔盐井”。
② 见本章第四节“古代开凿盐井井位的选定‘看榜样’布井位”。
③ 见第一章第二节“中国钻井技术的西传”。

“岩口簿”（见图9－3）。

## 一、“岩口簿”的起源

根据井盐生产的发展和史载，“岩口簿”不是一时出现和兴起的，它的起源和演变，同古代钻井技术的发明和发展是同步的，也是同深井地质和钻井紧密相连的，既然“岩口簿”是“凿井记录”，那么，开始凿井应该有了，最早可以追溯到北宋中期卓筒井发明时期。如若当时凿井不要记录，井凿完了就了事，一口井少则生产数年，多则数十年，甚至更长时间。盐井要维修，或一旦井内出现故障，没有任何基本数据可查阅，井下深处（当时缺乏先进的测试手段），地面看不到，摸不着，那么，井内怎样维修和处理？我们的祖先是非常聪明的，创造发明了圆刃钻头和卓筒井新工艺，不会疏漏和忽略有关盐井的记载。当然，早期盐井的记录，不一定都叫“岩口簿”。




图9－3　“岩口簿”
采自：自贡盐业历史博物馆珍藏双全井等“岩口簿”清代

川北地区，凿井记录，铭刻在“井尺”（又俗称“丈篾”或“过膀尺”）上，基本内容包括：井身规格，麻头尺寸，产层位置等。竹尺上刻字，类似古代的竹简文，应该说，这也是一种记录，并代表了川北地区卓筒井凿记录的一种形式，属于早期的凿井记录。因川北地区井浅，地层简单，以竹尺略记，可以基本满足后来修治井的要求，主要优点：内容简明，使用方便，容易掌握，利于保存。

但是，在川南自流井构造上，地下岩层变化多端，断层多，裂缝大，卤气产层交替相叠，钻井工艺复杂，盐井口径大，井又深，因此，凿井必须详记，才能适应生产和修治井的需要，只有用“岩口簿”。20世纪50年代初，110队在对自流井构造专题研究时，整理“岩口簿”89本，其中绘制成图的有80本。自贡盐场发现和遗存一批较老的旧式钻井记录，乃是清乾隆三十年（1765年）老双盛井、清咸丰五年（1855年）全福井及清咸丰七年（1857年）双全井的“岩口簿”①。为此，“岩口簿”至迟起源于清乾隆三十年（1765年），其全面系统完善的记录应是清道光中叶（1835年）燊（兴）海井千米深井凿成时期。

## 二、“岩口簿”的基本内容

“岩口簿”内容十分丰富，它把古代地质记录和钻井记录合二为一，同时还包括一切地面设施，史料十分珍贵，为今天研究古代地质、钻井技术及建井史提供了不可多得的实物资料。其基本内容为：井下地质记录；钻井工程记录；气卤测试记录。

---

① 老双盛井（包括本车间其他气井）的“岩口簿”，当时由制盐五年间生产管理员权焕章负责井的维修工程，“岩口簿”由他经管。因该井1964年春初白水腔复发，他曾多次将“岩口簿”带在井口现场，查阅井内老腔位置，研究处理方案。双全井“岩口簿”，由110队系统整理后，绘有地层柱状剖面图。



（一）井下地质记录

1. 搧泥（录井）始创于北宋中期

搧泥，是现代地质的一项基础工作，以凭据钻孔里取得的岩沙实物，直接观察和研究井下地层、构造，恢复地层剖面，了解卤水、岩盐及天然气情况，是获取岩心井段不可缺少的地质录井方法。

现代地质岩屑录井，在我国古代俗称为“搧泥”。早在我国北宋中期，卓筒井创建时，巧匠们就发明了“搧泥筒”，用于井内“搧泥”，为保障凿井钻头不断向地层深部开拓，提供了重要的条件及手段。

据苏轼《蜀盐说》中记载：北宋中期，卓筒井开凿时，已应用了“搧泥”法。为此，卓筒井的开创和“搧泥”法的产生是同步进行的。

关于搧泥筒制作工艺及“搧泥”原理，在（明）马骥《盐井图说》及（清）丁宝桢主编《四川盐法志》卷二中都有明确的记述。本卷依据史实记载，进行了专门研究和撰写，此不赘述。见本卷第六章第四节钻井工艺的完备（七）搧泥（岩屑录井）。

2. 搧泥”（录井）的基本内容及要求

第一，岩砂取样：与现代地质岩屑录井基本相同。古代凿井，每下一锉，都要进行搧泥，同时就取砂样。一般每凿数公寸，以取样一件，取样密度大（比现代录井更密），精度高。

第二，矿层取样：古人取矿样的内容与要求，同取岩样大体相同，但另加注意两点：其一，卤水（包括黄卤与黑卤）及天然气产层，确定岩层井段的深度、位置和岩层裂缝的性质（横缝和立缝）；其二，岩盐，确定含盐井段的总厚，同时分出纯盐层与干子（夹层如石膏等）的厚度。

第三，沙样鉴定：主要根据砂样的物理性质及特点，进行鉴定。把岩石划分为：红岩（即红色泥岩）；麻枯岩（页岩之类）；煤炭岩（煤层）；白砂岩（长石石英砂岩）；绿豆岩（粘土岩）；矿子（石灰岩、白云岩等）；水晶岩或干子（石膏）、盐岩（今称岩盐）等。

砂样鉴定，一般由井管事负责，他是总揽凿井技术的全权代表，即是钻井技师，又是“土”地质师，一身兼二职，实践经验丰富，善于鉴别岩层。

第四，地层分层：通过砂样鉴定，一则是指导现场钻井，如岩层的更替，预计钻遇目的层深度等；二则是系统地划分地层，包括命名、岩性、标准层、产层、厚度、井深等。先民对岩石命名不同，但就地层分层与今基本一致，其内涵与现代地质是相通的。顿钻凿井、层位及分层很清楚。

第五，“搧泥”判定地下岩石裂缝。在正常情况下，起锉以后，接着下泥筒至井底“搧泥”，捞取岩沙，但是，如出现了岩石裂缝，岩沙漏入裂缝中，这时，岩沙自然就会减少，或者根本取不到岩沙。有时，泥筒脚子上亦现裂缝痕迹，以此证实，岩石裂缝的存在。并根据泥筒脚子现痕的宽窄，可判定下岩层裂缝的大小及长短。

第六，凿井“搧起之泥（包括岩沙及泥水——作者注），并须详细考察是何地质，用簿登记”[37]。同时，还把每钻的进度、气卤的显示及其钻遇的各种现象，详

尽记载，要求不得有错漏。当时，关于盐井钻探，对岩口记录十分重视，从开钻到完钻，自始至终，指派专人司其职。“岩口簿”记录格式规范，内容统一。见清咸丰七年（1857 年）双全井及光绪三十四年（1908 年）域川井“岩口簿”。

钻井“搧泥”——岩沙录井：奠定了我国古代的井盐地质学[6]。

清咸丰七年（1857 年）双全井“岩口簿”：

在“岩口簿”首页大事记：有“咸丰七年丁　九月初六日立佃约；九月九日酉时（即 17 ~ 19 时）破土；九月十八日辰时（7 ~ 9 时）开草皮（即挖掉井口地表浮土层）；九月十九日动工打井（打大口）；十月十七日下石圈（石头制作，外方内圆，上下开榫）共二十一个；十月二十日寅时（3 ~ 5 时）立碓房（井口工棚）；十月二十五日吊锉（开始钻井）……”关于“岩口簿”的内容及格式记载，现仅摘录其中一段为例：

| 钻井日期 | 钻尺 | 岩石 |
|---|---|---|
| 十三日 | 行贰尺贰寸 | 烟子汤汤岩 |
| 十四日 | 行贰尺贰寸 | 乌岩烟子 |
| 十五日 | 行乙尺五寸 | 青岩汤汤 |
| 十六日 | 行乙尺贰寸 | 烟子岩、放梁 |
| 十七日 | 行八寸 | 烟子岩、放角 |
| 十八日 | 行乙尺 | 放角 |
| 十九日 | 行乙尺 | 草白岩 |

清光绪三十四年（1908 年）九至十月，域川井“岩口簿”摘录：

| 钻凿日期 | 进度 | 岩石、岩石裂缝 | 凿井钻头 |
|---|---|---|---|
| 九月初一日 | 行井式贰寸 | 青广子岩 | |
| 初二日 | 行井贰寸 | 青矿子岩夹有白干子 | |
| 十五日 | 未行井 | 青矿子挟层白干子 | 岩石裂缝出现 |
| | | 放角角（钻头不磨损） | |
| | | 见裂缝开始 | |
| 十六日 | 行井壹寸 | 细青矿子挟层白干子 | |
| | | 放角角现立裂 | 进入裂缝中 |
| 十七日 | 未行井 | 立缝扫四角双马蹄 | 治裂缝工具双马蹄 |
| 十八日 | 行井壹寸 | 青矿子双马蹄放角角 | 仍用双马蹄锉 |
| 二十六日 | 行井贰寸 | 黑砂岩现立缝 | 双马蹄锉 |
| 二十七日 | 行井壹寸 | 黑砂岩放角角 | 双马蹄锉 |
| 十月二十五日 | 行井贰寸 | 青矿子岩未搧明亮 | 不明亮就是出现了 |
| | | | 井病，改垫根子锉 |
| 二十六日 | 未行井 | 改垫根子锉，扎梭边搧 | |
| | | 泥明亮但现立缝 | 扶正作用 |
| 二十七日 | 未行 | 双马蹄代梭边，锉放角角 | 明亮井病有好转 |
| | | 但搧泥明亮 | |
| 二十八日 | 行井壹寸 | 黑矿子岩下双马蹄代梭边 | 用双马蹄锉 |



| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 反仄（音则）子 | |
| 二十九日 | 未行井 | 黑矿子岩下银锭锉<br>但放角角 | 裂缝缩小改用银锭锉 |
| 三十日 | 未行井 | 黑矿子岩下银锭锉<br>反仄子 | |

（二）钻井工程记录

钻井，打开了地下深层卤气资源的宝库。自贡盐场，其深井地质得以披露，深部地层卤气资源的发现和开采，也是以钻井来实现的。为此，盐井钻探工程，则是岩口簿重要内容的组成部分。

关于钻井记录方面，主要包括钻治井工具。清代，凿井工具已发展成熟。分十一大类，100 余种；钻井工艺，分九大工序：布井位→挖大口，下石圈→抽小眼，刮大口→下木柱，即固井→钻小眼，“见功”→滕余位→搧泥（录井）→考腔及补腔→取难等。同时记载：挦井即井深校正；考测井弯即测量井斜；开钻及完钻日期等。

此外，还有地面设备，如天车、碓架、花辊子、大车等。

（三）气卤的显示及测试记录

钻井的目的，是为了获取地下的气卤资源。因此，在钻井过程中，如发现气卤的显示时，必须注意观察：如泥水咸量增加，表示有新卤来源；钻井时，如有“流沙”或“水晶岩”（即方解石），表示有岩石裂缝，则可能出现卤水或天然气；锉井中，如锉头四楞或四角被损，或栽底仄（音则）子等，表示已发现“立缝”，可能有卤气；如钻井时，发现井口（亮筒子或灶上）天然气火力猛增，而不是逐渐增加，表示有气泡（突然气量及压力以几倍至数十倍的增加，很快即消失、名曰“气泡”），并即之停钻，做好安全准备，预防发生火灾；锉井时，如发现竹篾及锉杆收汗快等现象，亦反映有气卤的存在。在锉井中，发现以上气卤的征兆，必须立即停锉，多推水泥，将泥砂推尽，以免气卤在岩石裂缝运移中受到阻塞。

卤水及天然气的测试。钻井中，发现卤气显示的征兆，这仅仅是表示有新增卤气的来源，但卤气的产量及质量如何，则需专门进行测试。当时，没有现代的测试设备和仪器，但先民以自制的竹、木、铁质工具进行测试，其特点简单方便、实用安全、科学准确。

1. 黄卤和黑卤的观测

此处未包括地下浅层淡水在内，淡水用“考水筒、引草”测考。一般用提捞设施及方法，考井内卤水液面及试推，以测试卤水的涌水量；又以“考咸碗”为标准、测定卤水中含盐量的多少，以达到对地下卤水数量（即产量）和质量的测定。

2. 天然气的观测

一是用竹制的“通天枧”插入井口内，观测天然气冲起的高度，或以瓷碗放在“通天枧”喷气口，再观测碗被气冲悬的高低，测试气流的压力，以推算井内天然气的产量（流量）；二是放“亮筒子”，观测天然气燃烧火焰的高低、颜色、响声等，以测计天然气的产量。





3. 井身的测考

如，测考井径，用竹制的“发口”考腔（即井径局部垮塌后，扩大部分），然后用油灰补腔，“无不应者”。又如，测考井斜。盐井开凿过程中，由于种种原因，要产生井斜（俗称“井弯”），用竹制的“样筒”检测。若“样筒”放入井内上下活动，不阻不卡，证明井身伸直，反之，则出现井斜，并要采取措施进行纠斜。先民发现用“样筒”测考井斜，钻凿的盐井或气井，一般井身近于垂直、质量高。

总之，“岩口簿”的内容，主要包括地质、钻井及气卤测试的记录。关于地质记录方面，主要包括“签井”，即根据“看榜样”“查地脉”，选布井位，然后开挖井口；岩口记录，以搧泥（即录井）划分地层，建立地层系统，即从开井到终井，钻遇约 1 000 米的各种地层，同时簿里还大量地记录了地下岩石的裂缝和构造裂缝。关于钻井工程记录方面，主要内容为钻井工具（包括地面设备）及凿井工艺等；关于气卤测试、记录方面、包括对天然气的流量、压力等，卤水的涌水量及咸量等定量或定性的观测。同时对卤气资源的产层、井段、特征等亦有详尽的记载。“岩口簿”的出现和建立，标志着我国古代井盐地质初步的创立。

“地质学成为一门独立的科学，那是近在二百年前的事。”[10]当时，国外地质学研究的内容及特点：一是地球起源的假说。地球是宇宙中间的一颗星球，即太阳系中的一个成员。关于地球起源的假说很多，但是，按哲学观点的研究和归纳，基本上可分为两大类[10]，第一类是灾变说。此说于 1745 年，由法国动物学家布丰提出，认为地球或太阳系的成因，是由某种巨大变动的结果。第二类是渐变说。如地球形成的内因假说，于 1775 年和 1799 年，分别由德国哲学家康德（1724—1804）及法国数学家兼天文学家拉普拉斯（1749—1827）提出了内容基本相同的“星云假说”，即地球是由星云物质形成的。这两类假说，当时由欧洲兴起，在世界上广泛流行；二是对地壳运动史的研究。如，英国地质学家赖尔（1797—1875）及其名著《地质学纲要》（1830—1833 年）①具有代表性，反映了当时地壳运动史研究的水平。此书，1871 年，由江南制造翻译馆华蘅芳等科学家翻译，译名《地学浅释》，介绍到我国；三是野外地质和矿产的调查。如，俄国著名科学家罗蒙诺索夫（1711—1765）作出了重要的贡献。他多才多艺，不仅是一位杰出的地质、冶金、化学及物理学家，而且是一位作家和诗人。在地质研究方面，贡献很大，著有三部书②：《论金属由地震生成说》（1757 年）、《冶金学或采矿工程的初步基础》（1763 年）及《地层学》，最后一部是第二部的续篇。这三部专论矿业及地质学的著述：“不是取自他书，而是作者本人亲眼观察的结果”[9]；四是关于地理的研究。如，19 世纪上半叶，俄国成立了矿物协会（1817 年）和地理协会（1845 年）。这两个协会，承担了国土的研究和进行地质制图。

---

① 赖尔《地质学纲要》（1830—1833），出版问世之日，约是中国自贡燊（兴）海井深度超千米之时（1831—1835 年）。前者，是当时对地壳史的研究“世界名著”；后者，却是中国先民的“杰作”，钻出了世界第一口超千米的深井，对地下深部地质的钻探和深层卤气资源的开发。

② 罗蒙诺索夫，所著三部书（1757—1763 年，见上本页），与中国自贡老双盛井清乾隆三十年（1765 年）钻凿基本是同时期，罗书是野外地质和矿产调查的著作；该井是地下地质和气卤资源钻采的成果（井深 530 米，发现天然气日产 150 立方米。后加深至 930 米，日产气增至 6 180 立方米）。



综上所述，约在19世纪中叶以前，国外地质学的研究，多偏重于地球起源问题、地壳运动史及野外地质（包括地表矿产）等方面，而对于地下井盐地质和深部矿产资源的研究和开采，可以说是一个空白，有的顶多属于浅层地质的考察。这一时期，我国井盐地质初步的创立和深部矿产资源的开发，却恰恰填补了这个空白，成为一门新兴的学科。

最后，值得特别提出的喜讯：2008年3月，世界联合国教科文组织授予“自贡地质公园·盐业科技园区”的殊荣。可见，自贡地点（包括自贡盐业地质和自贡恐龙），已为世界瞩目。





# 参考文献

[1]（清）丁宝桢：《四川盐法志》卷二〇。
[2]（南朝）范晔：《后汉书》卷八六。
[3]（北魏）郦道元：《水经注》，卷三三，引王隐《晋书·地道记》。
[4]（宋）释文莹：《玉壶清话》卷三。
[5]（唐）李吉甫：《元和郡县志》卷三三。
[6] 胡砺善：《祖国石油与天然气史话》，石油工业出版社，1957 年。
[7] 赖明钦等口述，张开铭撰文：《岩盐发展概况》，载《自贡文史资料选辑》第六辑。
[8] 聂成勋：《自流井构造盐、卤资源的开发状态及合理开发方案探讨》（自贡井盐矿山开发史研究报告），1978 年。
[9]（苏联）布雅洛夫著，徐秉涛等译：《构造地质学和野外地质学》（上册），地质出版社，1956 年。
[10] 张家环编：《普通地质学》，石油工业出版社，1986 年。
[11] 原四川省石油勘探局 110 队：《四川盆地自流井专题研究总结报告》“第一部分”（文字报告），1955 年。
[12] 熊楚：《论自贡井矿地质》（民国二十四年印本），载《盐业史研究》，1992 年。
[13] 胡砺善：《四川盆地自流井构造天然气开采的研究》，石油工业出版社，1957 年。
[14] 贡井盐厂档案室：“东源井岩口簿”。
[15] 丁传柏、聂成勋、马宗瑶：《自流井构造天然气开发历史解析》，载彭泽益、王仁远主编：《中国盐业史国际学术讨论会·论文集》，四川人民出版社，1991 年。
[16]（清）李榕：《自流井记》。
[17] 廖品龙：《试论张若在成都置盐铁市官与李冰穿广都盐井》，刊《盐业史通讯》，1977 年第 2 期。
[18] 李吟秋：《凿井工程》，国立研究院出版部，民国二十年。
[19] 王象之：《舆地纪胜》卷一八二。
[20] 王圻：《续文献通考》卷一九。
[21] 丁宝桢等：《四川盐法志》卷五。
[22]《蓬溪县志》卷八（清道光二十五年本）。



［23］四川历史组编写：《 四川历史 》上册（古代部分），四川人民出版社，1982 年；又见（本章后）［37］文献。
［24］四川省南部县档案馆：卷 15 －1 －7 号。（引自卷内：四川南部县档案馆编写：《 南部县两千年盐史概况 》，1982 年。）
［25］（清）丁宝桢主编：《 四川盐法志 》卷二。
［26］李铁映、林声：《 科技入门 》（上册），辽宁科学技术出版社，1985 年。
［27］郑光祖：《 一班录 》“杂述二”。
［28］孙经明：《 自贡井盐场产如何改进 》，载《 东方杂志 》第三五卷，民国十九年。
［29］《 自贡文史资料选辑 》第一三辑。
［30］《 自贡文史资料选辑 》第一五辑。
［31］黄植青等口述，胡善权撰文：《 自流井李四友堂由发轫到衰亡 》，刊《 自贡文史资料选辑 》第七辑。
［32］张开铭等：《 盐岩井发展概况 》，刊《 自贡文史资料选辑 》第六辑。
［33］（明）熊过：《 南沙文集 》卷四。
［34］（明）张翰：《 松窗梦语 》二卷。
［35］（清）吴鼎立：《 自流井风物名实说 》。
［36］巡按四川兼管盐法屯田监察御史张所志奏：清代档案，顺治十七年正月初三。
［37］吴炜等：《 四川盐政史 》卷二。





# 第十章
## 传统钻采技术及其科技原理的应用

人类社会的文明，即文化（包括科技）长期的积累，不是一天之内忽然产生的。文化长期积累起来，流传下去，“祖父传之，子孙继之”[1]。在流传和继承中，又在原有的基础上发展、演进着。为此，传统是不能抹煞的，人类社会如若没有继承，也就没有发展了。创新必须要继承，继承必须有创新，创新和继承二者不可分割，相生共存，一句话：“观今宜鉴古，无古不成今。”无论东方和西方，丰富多彩的科技发展史，无不是继承和创新的历史[2]。由此认为：传统科技，是历史上长期积累，沿传下来的科技成果。

建国后，四川自贡盐场的工匠，直接应用传统钻采技术和传统井盐地质，在起复旧井，加深老井，钻探新井，开发地下盐、卤、气资源方面，为“盐都”自贡井盐生产的恢复和发展奠定了基础，工匠们也取得了巨大的成就，从而，为国家的经济建设作出了新的贡献。同时，其科技原理，可供石油天然气勘探、制造厂家及矿山开采等行业的钻采和修井工具，进行设计、创新、改进有借鉴的启迪作用。

### 第一节　自贡盐场的复苏
#### ——建国初传统井矿盐技术对自贡盐场的恢复

建国前夕，自贡盐场因货币贬值，通货膨胀，场盐囤积，资金周转失灵，盐商负债累累，工人失业，民不聊生，盐场经济完全崩溃。因此，井停灶息，食盐运销停滞，工厂破败不堪，盐场生产全面瘫痪。①

建国初，人民政府针对自贡盐场百废待兴，便实行了积极的盐业政策，大力

① 自贡以盐设市，因盐业生产瘫痪，运商资金损失达60%左右，井灶商破产者达70%，盐工失业，生活极端困苦。而其他为盐业服务的各种行业，也随之纷纷倒闭。因而使依靠盐业为生的10万人和间接依靠盐业的将近百万人陷于失业。故此，建国前夕，自贡盐场井停灶歇，产、运、销全面瘫痪，濒临绝境。（见左宏光：《自贡盐业的破败与新生》，载《自贡文史资料选辑》第十一辑；又，牟海秀《在职工代表会上的报告》，1951年1月1日）



扶持井盐生产①。同时，因地制宜，从矿山开发到食盐煎制，采用传统井矿盐技术，以恢复盐业生产，并经过短短三年的艰苦奋斗，使自贡盐场重新恢复了生机，呈现出一派欣欣向荣的景象。从而为自贡盐场的发展创造了有利条件。本节是研究和总结从传统井矿盐技术方面，对自贡盐场的恢复和发展，起到的重要作用。

我国井盐生产，在历史上是一个古老的行业，传统技术色彩甚浓。建国初期，四川盐业尤其千年盐都——自贡，仍然普遍应用传统井矿盐技术，使一个瘫痪的盐场，获得了迅速恢复。这些传统技术，主要包括：传统钻治井技术；传统采卤技术；传统输卤技术；传统制盐技术。

**一、传统钻治井技术的应用**

建国初，自贡应用传统钻治井技术，挖掘老矿山的潜力，开发地下卤气资源，满足制盐生产的需要，促进了井盐业的复兴。1962 年，自贡盐业地质钻井大队建立，标志着我国井矿钻井技术向现代化迈进。但传统顿钻凿井技术与现代旋转钻井法并用，且至今这些传统钻治井技术还在自贡盐场发挥作用。

（一）传统井匠

清代，随着井盐业的大发展，工场规模宏大，形成了众多的工种和明细的分工，且按不同工种性质、技术高低、贡献大小，取得报酬。这些工种基本上沿袭到建国初，如井口管事、山匠、碓工、拭篾、开车、钩水、棍子匠、桶子匠、白水客、铁匠、笕山匠、车水匠、牛牌、灶头、烧盐工、职员、打杂等。② 在上述众多传统工种中，以传统井匠为代表。

我国钻井技术发展，于清代已臻成熟，即冲击式顿钻凿井技术得以提高和完备，形成了一套完整的、科学的钻探技术。掌握和操纵这种钻井技术的传统井匠一直沿袭到建国初，自贡盐场还保留有一大批富有地质知识和钻井经验的专业化队伍。

20 世纪 50 年代初，自贡盐场主要钻井技术人员（如，井口管事）及其密切相关的技术工匠（如锻造钻头的掌钳师），都是继承、发展、应用清代以来的传统钻井技术，诸如人工捣碓凿井技术；工具制作开、砍、叼、扎技术；井内钻凿技术；井下打捞和修井技术；地面设施工程技术等，他们对这些技术，能操作自如，达到炉火纯青的程度，如，郭家坳盐体的发现者——井口管事陈炳武，即是应用传统钻井技术的一位杰出代表。

传统井匠的特点。建国初期，古老盐场自贡留下来一千多名井匠（这里系指井口管事、山匠、碓工等），大多是清末民初以来的井矿技术人员。由于历史原因，文化水平较低，现代知识欠缺，但他们在盐场勤学苦练，辛勤工作数十年，

① 1949 年 12 月 5 日，自贡和平解放。自此，这个古老盐都，获得了新生。但是，这时的自贡却是场盐囤积，造成盐业严重危机，濒于崩溃的边缘。于是，人民政府及时实施“运重于销，销重于产”的方针。并随着盐业生产逐步地恢复，产、运、销的协调，赓续，又提出“产销配合”“扩大生产”等一系列的方针。结果，使一个“井灶停歇”“生产瘫痪”的盐场，经过三年艰苦的努力，原盐产量直线上升，销路畅通，谓之产销两旺，终于得到了迅速恢复。自贡盐业全面的复苏，百业兴旺，旧貌换新颜。（见左宏光《自贡盐业的破败与新生》，载《自贡文史资料选辑》第十一辑）

② 建国初，自贡盐场关于钻井、汲卤、运卤、烧盐等工匠，沿袭了清代的工种和名称。





工作业务娴熟，操作技能高超，一般以实干表演为主，“身传口教”为其特点。盐场凿井工程技术，是由井口管事（相当于今技师职称）全权负责。陈炳武是从碓工经山匠逐级阶梯提升到管事职位的，管事在地质和钻井方面实践经验很丰富，头脑精细，手技灵巧，有超过一般井匠的智能，所以，能够获得盐商和工匠们的认同，成为带领全体井匠及主宰凿井技术之首脑，是井矿工程中最有权威的人。

（二）传统钻、修井工具

我国北宋发明了钻、修井工具，又经元、明（代）长足的进步和发展，到清代获得全面的完善。建国初期，自贡盐场还保存和继承清代以来的各种类型传统钻、修井工具，共分十一大类（包括地面设备）计 151 种①。这标志着钻井技术取得了巨大成就。传统钻、修井工具，多以铁、木、竹、麻为材质制作；铁工具，由铁匠用手工反复锻打而成；木、竹工具，由井匠用手工精细开、砍、叼、扎做成。这些工具具有材质简单、制作科学、形状各异、种类齐备、功能奇特等优点。这是目前我国和世界上保存最完整的一套工具群。这也体现了先辈的聪明才智和首创精神，受到专家学者和中外人士的高度赞誉。尤其传统工具内涵丰富、潜力巨大，其实用价值，至今仍然广泛用于钻探新井、加深老井、起复旧井，以挖掘盐场地下卤气资源的潜力，如，自贡盐场现今还保存下来一大批生产老井 52 眼，年产气量约 3 000 万立方米，其修治井工程，仍继续使用传统顿钻工具。

（三）传统钻井技术

从宋代至建国前夕，历时 900 多年，自贡盐场逐渐形成了一套完备的、规范化的深井钻凿工艺。这套科学的钻井工艺，按严密的分工进行，每道工序都有明显的操作规程和工艺技术要求。建国初，自贡盐场继承并发展了旧法凿井工艺技术。这在《自贡盐场锉井及治井技术》一书中[3]，便有明确的、系统的记述，按凿井工序的先后划分为：选定井位→挖大口→下石圈→抽小井眼→刮大口→下木柱→装设→窼盆→锉小眼完钻。这一套程序化的凿井工艺，开创了现代钻井技术的先声。

关于应用传统钻井技术，开发自贡老矿山卤气资源，在自流井盐厂编的《自流井盐厂志》中做出了明确的解答：“冲击顿钻工艺，这一传统的钻井技术……在郭家坳地区，作为自贡盐场的重要产区，随着地区盐卤、天然气资源的大规模开发，也广泛应用此技术，并在实践中不断发展完善。建厂后，此工艺仍在厂内沿用。”[4]

1956 年，达德井加深发现岩盐，亦是应用的传统凿井技术。不过，凿井动力由工人捣碓改用机器带动②——即钢绳一端穿过辊子，搭在井口旁的矮乘子（天）辊子上，悬吊牵引钻具（包括连环 + 转槽子 + 竹把手 + 银锭锉或双马蹄锉）。钢绳的另一端与电动卷扬机车轴心上的线盘连接，借助电力推动机车线盘做圆周运动，带动井下钢绳及钻具变成直线上下往复运动，这时钻头在井底冲击破碎岩石，即

① 据刘德林、周志征《中国古代井盐工具研究》分类标准。传统钻、修井工具，仅自贡盐场（不包括川北地区），由原来十大类，现今分为十一大类计 151 种。

② 机车凿井，包括蒸汽卷扬机车及电动卷扬机车两种，当时达德井加深用的电动卷扬机车，其后生产时，改用的蒸汽卷扬机车，增大动力。



进行凿井。机车凿井，是对传统凿井法的改进，从而减轻了工人的劳动强度，提高了钻井工效，节省了工程费用。

建国初期，自贡盐场虽然对传统凿井技术有的进行了改进，如，凿井悬吊钻具的绳索，由竹篾改成钢绳、或凿井动力，由人力改用机车、或钻杆加大、加长及加重、或井内补腔材料，由油灰改用水泥，提升动力和材质的改进等等，但是，这时（20世纪50年代初至50年代末）应用的钻井技术，其科技原理，仍是旧法顿钻凿井的继续和延伸，基本上是清代沿袭下来的。钻治井工具，仍以铁、木、竹材质制作，其形制、种类及功能均系与清代类同。

（四）传统修井技术

建国初，自贡盐场百废待兴，因建设资金缺乏，没有新打井，全是应用传统修井技术①，起复老井、旧井或修治病井，这些老病井的起复，主要优点：一是投资少；二是工期短；三是见效快。一眼井恢复见功，即可开采地下卤气资源，正如盐场人俗言道："揭开甑子就是饭。"

自贡盐场历史悠久，盐井星罗棋布，早在清末民初，旧废井已超过一万眼。1949年12月，自贡盐场有岩盐井及黄黑卤井总计235眼，其中194眼井停推、停产，占全场总井数的82%。[5]在盐场成千上万的老旧井中，有目的、有重点地选择一批有潜力的卤（气）井进行修治，即淘井、或起复、或取难等，以起死回生，恢复生产。

当时，川南盐局（后改名为自贡盐务局），专门组织老工程技术人员、老管理人员及老工人，即所谓盐场"三老"人员②，今称"三结合"专家组，对盐场上遗存的老井、旧井、废井进行调查研究。他们一方面深入现场了解，不辞辛苦，翻山越岭，渡溪穿峪，获得第一手资料；另一方面查阅井史档案，如，井下岩层、卤气产层、井身结构、井内有无落物及地面设备等，以弄清盐（气）井停产原因。在盐井调查、了解清楚的基础上，分井排队，按轻重缓急，进行修复，挖掘井内卤（气）潜力，如盐场双塘地区的天源井及和生井，两井停废多年，地面设施早已拆除，井场上杂草丛生。但经多次分析、研究，认为井内卤水资源较丰，决定列为第一批井起复。结果两井效果良好，年增产卤水12万标立方米（折固体盐1.2万吨）。随后，一批又一批盐（气）井相继起复，或解除井内故障，并迅速投入采卤、采气。至1950年底，自贡分区修治的卤（气）井如下。

凉高山区：25眼井。

大坟堡区：66眼井，其中岩盐井11眼；纯火井41眼；水火黄卤井10眼；水火黑卤井4眼。

东豆区：63眼井，其中纯火井55眼；水火黄卤井5眼；纯黑卤井1眼；水火黑卤井2眼。

郭家坳区：36眼井，其中纯火井28井有条眼；水火黄卤井4眼；水火黑卤井

① 修治井技术，主要有取难技术、补腔技术、修治木柱技术、纠正井斜技术及淘井技术。这些精湛技术由古代沿传下来。详见第六章第五节高超奇特的修治井技术。

② "三老"人员，他们大多生长、生活工作在盐场长达数十年，有的祖辈从事盐业，称"盐业世家"，实践经验丰富，对井盐生产非常熟悉，为当时选择老井和旧井起复起了重要作用。





4 眼。

贡井区：62 眼井，其中纯火井 35 眼；纯黄卤井 5 眼；水火黄卤井 9 眼；纯黑卤井 7 眼；水火黑卤井 6 眼。

由上得知，1950 年底，自贡五大矿区，已恢复生产的井数总计 252 眼[①]。井盐生产，矿山是龙头，盐井的修复，为开采卤气资源，满足制盐的需要，提供了丰富的原料和燃料。

**二、传统采卤工艺**

**——提捞法采卤[②]**

提捞法采卤，早在清代已臻完备。清代盐井采卤技术，经民国时期，一直延续到建国后。建国初，三年盐业恢复时期，自贡盐场全部采用传统提捞法采卤，至 20 世纪 70 ~ 80 年代，仍有大量盐井是提捞法开采，成为盐业矿山采卤工艺之一。按提捞法采卤使用动力不同，又分为牛车、机车、电车[③]推卤三种方式。其基本采卤工艺一致。总括起来，提捞采卤的操作程序：即通过动力牵引索筒或丝筒，由天车垂悬汲卤筒放入井底至卤水柱液面，此时，因索（丝）筒向下的重力和卤水向上的浮力作用，自动冲开筒底皮钱（打开单向活塞），卤水进入筒里至储满全筒，即将汲筒提升。由于卤水的重力作用筒底皮钱自动关闭，不泄漏。当汲筒推出井口后，拘水工人左手抱筒移入地楻桶拘水位置，右手持啄拘（一种拘水器）用力顶开皮钱，卤水流入楻桶内，同时转流量卤房计量，然后输送到制盐车间。关于传统提捞采卤工艺流程：开车工匠接班（检查设备安全）→启动车子（包括机车或大车）→放回手（由井口放［空］筒下井）→点水[④]、喂水[⑤]、搧水[⑥]→起推卤筒（从井下推筒出井口地面）→收车（慢推）、关车（暂停）→拘水（拘出筒里卤水，流入地楻桶），即完成一筒采卤流程作业，如此循环推汲井里卤水。

传统提捞采卤工艺独具的特点：由上可知，传统采卤设备，主要有机车（或大车）带动，篾索或钢绳牵引，汲筒盛卤，木制井架承载负重。这些设备，在采卤时，工匠操作简便、快捷灵活，一是推卤井可浅可深（盐井浅者数十米，深者上千米），即井浅深皆用；二是推筒入井随时可升可降，找准咸卤层位，采汲高咸盐水（如岩盐卤井搧咸）；三是采卤井的产量可低可高（井产卤量低者仅几立方米，高者数百立方米），即不分盐井的大小、产卤量的高低，均适用；四是可大大提高盐矿采收率（此法，可将黄黑卤井的卤水推干，岩盐井的岩卤推淡），最大限度地减少矿山资源浪费和损失。

1950 年至 1952 年期间，自贡盐业开始复苏，在矿山开发方面，地面设施依旧，仍是传统采卤方式。1953 年至 1958 年时期，由于盐业生产的蓬勃发展，即对

---

① 除开注销的卤井和气井 124 眼未计（见杨寿山《关于盐业生产的报告》，1951 年 1 月 13 日）。

② 据自贡盐场和生井（黄卤井）、东源井（黑卤和天然气井）、大德井（岩盐井）传统提捞采卤工艺写成。

③ 牛车系木制大车；机车即蒸汽卷扬机车；电车系电动卷扬机车。

④ 点水：即推筒入井刚接触水柱液面处。

⑤ 喂水：井里卤水由筒底皮钱活塞自动进入筒内，至全筒装满。

⑥ 搧水（又称搧咸），适用岩盐井。通过搧水，排出筒内淡水，换成咸水，从而提高卤水咸量，降低成本。但，如岩盐井推活水及黄黑卤井推水，不进行搧水。



传统提捞采卤进行了一系列的改进，如，升高井架、加长推筒、加大机车动力等，成倍提高工效。但是，传统采卤方式尚未变。

由于盐场大批老井的修复，传统采卤普遍的运用，因而，年产卤水直线上升，如1950年产卤131.06万标立方米（折盐12.48万多吨①），到1952年，卤水猛增达271.20万标立方米[5]（折盐25.82万吨），卤盐提高2.06倍多，从而为自贡盐业的复苏起了重要作用。

**三、传统竹笕输卤技术**

据考究，竹笕输卤技术起源汉代，宋代初步发展，清代已臻完善。

清代，自贡盐场笕管输卤技术得到了高度的发展。整个盐场笕管密如蛛网，四通八达。其主干管道有12大笕，笕管铺设长的达10千米，短的亦有5~6千米[6]。但随着矿山采区的变化，盐业的兴衰，笕商的更替，笕业亦曾几经变迁。至建国前夕，盐场仅存有大同、恩流、裕明等竹笕，亦随同井灶生产的衰败而遭厄运停业。

（一）传统笕业的复兴

井盐生产包括钻采、输卤、煎制等各个环节，其中竹笕输卤则是连接矿山采卤和制盐的中间环节，即属井盐生产的重要组成部分，不可缺少。并随着井盐业的复苏，盐场笕业亦相应的勃兴。建国初，在金属管件十分缺乏的情况下，采用传统竹笕输卤，不仅节约了大量的资金，而且，及时地满足了制盐部门的需要。从而为自贡盐业很快的恢复，立下了汗马功劳。

建国初，刚刚兴起的笕业，总计13家，其中国营2家，私营的11家。

国营笕有：新华笕、天一笕，计2笕。

私营笕有：同义笕、余庆笕、四兴笕、东天一笕、宏生笕、多福笕、恩流笕、源新笕、裕明笕、新记全一笕、一记全一笕，计11笕[7]。

（二）从公私合营笕业到国营笕业——专业运水公司的建立

自贡盐场，纵向12千米左右，横向约5千米，采卤制盐井灶分散在这大片土地上，相对而言，以凉高山、大坟堡、郭家坳较为集中。盐场众多和大小灶户所需卤水和岩盐井注水，全由笕、汲、注、运各家运、转、供应，于是，形成各自为阵的局面。

由于井灶的分散，笕商群起，又以私笕为主。为此，笕业内部，操纵把持，互相打压，资本雄厚，势力强者，获取暴利；反之，弱者发生亏损，笕管朽坏，无力维修，运卤沿途跑、冒、滴、漏严重，最多卤水损失达40%左右。造成供求脱节，严重影响了盐场生产。

为了发展生产，降低制盐成本，统一卤水标咸，减少卤耗，因此，必须改变混乱的经营方式。当时，人民政府采取引导笕、汲、注、运私业走上国家资本主义的道路，实行公私合营。1951年4月4日，公私合营运水公司筹委会成立。参加筹委会的有国营笕2家，私营笕11家。（见上述（一）传统笕业的复兴）另有和福公注水处、益记水厂、佑新运水处、自流井盐场卤水调配处，共计17家。赓

① 按约10.50标立方米卤水，折食盐1吨。





即：1951 年 5 月 1 日，“公私合营自流井盐场运水公司”正式成立[7]，并通过了公司章程。

运水公司成立后，根据自贡井灶厂区的分布（包括贡井、郭家坳、大安、张家坝）生产的需要，重新布局，规划笕管路线，大刀阔斧地对原有的竹笕进行改造，先后安装主干笕路四组，计 8 条，总长 43 184 米。

第一组：郭家坳—大坟堡管线。竹笕 2 条，共长 8 790 米（每一条长 4 395 米）；

第二组：郭家坳—贡井，竹笕 3 条，共长 17 340 米；

第三组：郭家坳—张家坝，竹笕 2 条，共长 11 072 米；

第四组：贡井—郭区，竹笕 1 条，全长 5 982 米。

公私合营运水公司成立后，加强了竹笕运卤、水厂的经营管理和合理调配，全场笕管输卤发生显著变化，即降低了卤水运输成本、改善了管理、发展了业务及定期分配盈余，为国家积累了资金，资方也获得收益。总之，合营后，对公私双方都有利。

但是，随着盐业生产的发展，企业的扩大，公司股权结构逐渐发生变化，公股不断增大，私股所占比重越来越小，至 1953 年 6 月，企业资本总值增加到 78.26 亿元（旧币）。其中私股仅占 4.93%。此时，私业户要求退股，于是，国家对私股予以全部收购。1953 年 7 月 1 日，公私合营运水公司宣告结束，改名国营运水公司[7]。1995 年 7 月 1 日，自贡运水公司并入自贡盐务管理局。

（三）纵横密布的厂区竹笕——关于自流井盐厂输卤笕管的调查

自贡盐场输卤竹笕，按上下级所辖笕管的分工和分布的地段不同，可分成两大部分，或云分两大管线。第一部分，为全市设置的总输卤管线（如上所述 8 条竹笕），由市运水公司所辖。其职责和任务，是统一调度全盐场的卤水，按生产计划和任务，合理分配需卤或缺卤的盐厂，即运水公司输卤竹笕从采卤矿山到盐厂储卤池一段，如郭家坳至大安堡，全长 4 395 米。其目的是调配全市各厂盐卤供求的平衡，完成全年生产任务。第二部分，厂区安设的分支竹笕，为盐厂所辖，如自流井盐厂输卤笕管。但由于卤水来源不同，又分为两种笕路，一是外购输卤管线，它是从储卤池（即万担池）到各制盐车间的管线；二是自产运卤管线，由采卤车间到制盐车间或输送储卤池的管线。外购运卤，仅是补充盐厂自产卤水的不足。两种笕管纵横交错，密布厂区。据调查，全厂有输卤竹笕总计 66 条，共计 55 937.7 米。各条长度及起止地点（见表 10－1）。此表仅属一个盐厂的管线，比全市运水公司输卤管线还多出 12 753.7 米。如加上贡井、大安、张家坝三大盐厂的管线，则在盐场运卤管线总长至少在 20 万米以上（折计长 200 千米还多）。



表 10－1 竹笕长度起止表①

| 起止地点 | 楠竹笕管 | | 起止地点 | 楠竹笕管 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 条数 | 长度（米） | | 条数 | 长度（米） |
| 放牛山—大同笕 | 7 | 31 570.8 | 源海井—富川井笕 | 1 | 120.0 |
| 土地坡—上卤池笕 | 2 | 631.0 | 源熙井—富川井笕 | 1 | 360.0 |
| 达德井—祠堂山笕 | 7 | 2 290.5 | 双海井—坤洋井笕 | 1 | 732.0 |
| 枷担湾—土地坡笕 | 8 | 2 618.4 | 坤洋井—乌龟桥笕 | 1 | 1 110.4 |
| 上卤台—下卤台笕 | 2 | 117.6 | 达德井—郭四井笕 | 1 | 164.9 |
| 土地坡—下卤台直笕 | 1 | 487.8 | 白坡—正德井笕 | 1 | 435.0 |
| 营盘山—黄桷岩笕 | 3 | 2 938.8 | 坤洋井—达德井笕 | 1 | 1 176.8 |
| 青杠林—坤洋井笕 | 2 | 930.0 | 土地坡—蔚蒸井笕 | 1 | 353.8 |
| 天源井—达德井笕 | 2 | 1 400.0 | 土地坡—葆贞井笕 | 1 | 268.5 |
| 郭四井—祠堂山笕 | 3 | 981.0 | 大同笕—福明井 | 2 | 676.6 |
| 黄桷岩—大同笕 | 6 | 2 579.1 | 福明井—新双盛井笕 | 4 | 992.5 |
| 和生井—坤洋井笕 | 1 | 516.9 | 大同笕—葆贞井 | 1 | 212.9 |
| 大同笕—双全井笕 | 2 | 244.2 | 新双盛井—全福井 | 1 | 600.0 |
| 大同笕—福崇井笕 | 2 | 132.5 | 总计 | 66 | 55 937.7 |
| 土地坡—黄桷岩笕 | 1 | 1265.4 | | | |

采自：自贡市自流井盐厂编《自流井盐厂志》

## 四、传统制盐技术

中国井盐制盐技术，早在战国末，川西广都盐井建成，那时就开始了。后经长达21个多世纪的进步和发展，迄至清代，自贡盐场研制出了花盐和巴盐优质产品。花盐粒坚、雪白、味佳；巴盐断面平整、显金属光泽，民众喜爱。自贡盐，闻名遐迩，除满足四川一省外，还历代远销湘、鄂、滇、黔等省区。其精细的制盐技术，在清代吴鼎立著《自流井风物名实说》、丁宝桢主编《四川盐法志》卷二等史籍有详细的记载。

关于清代制盐技术，如制盐灶，有炭灶、火灶等；制盐设备，主要有千斤锅、镶锅等；敞锅花盐煎制工艺：分为兑水、放卤入锅、加热蒸发浓缩、下豆浆、铲盐、淋（洗）盐等工序②。自贡盐业恢复时期，基本上沿用了此种工艺。乃至20世纪50年代末，自流井盐厂仍用传统千斤锅（铸铁圆锅）制盐占主导地位。据

① 表中尚未包括车间内部设置的笕管。

② 详见本卷第六章第八节记载清代井盐史的重要文献·烧盐法。

《自流井厂志》云：盐厂初期“工厂全部继承传统的采卤制盐技术……煎盐的小圆锅比比皆是”。《厂志》又云：到“1958 年，用于敞锅制盐的盐锅有铸铁圆锅和方锅，其中铸铁圆锅 1566 口，钢板方锅 120 口”[4]。当年铸铁圆锅“产盐 83 974 吨，占（全）年产量的 82.44%”[4]。

这一时期，自贡盐场在传统制盐的基础上，有重大的改进，如，硬渣制盐，大平锅制盐，是当时有影响的制盐新工艺。

1950 年 10 月，由贡井盐厂烧盐工匠宋润民提出泡渣制盐改成硬渣制盐。即将泡渣盐（第一次生成的晶种盐），再加工一次生成的晶种盐（第二次生成的晶种盐），盐场称俗称硬渣，又称种子盐。它比原有泡渣盐，结晶致密、坚硬有力、不易破碎等优点。在操作工艺上改变了过去制泡渣要降低火力，并慢慢培育晶种的传统方法。改进的硬渣制盐，火力愈强，效果越佳，可下晶种多，产量高，盐质好，成本低，最多能提高产量约 12%。为此，硬渣制盐法，在全盐场普遍推广。

大型平锅制盐。“1952 年，即筹建张家坝制盐新厂，包括新建十六口大型平锅，新增产盐能力，每年约 240 万担（折盐约 12 万吨）。”[8] 1952 年，张家坝盐厂新建“十六口大型平锅”制盐，其意义非凡：第一，改变了传统的铸铁圆锅（千斤锅）、镶锅等制盐方式，如，铲盐改为捞盐，又取消了下渣盐等工序。为自贡盐场 20 世纪 50 年代末至 60 年代初，普遍推广大平锅制盐，提供了典范。第二，1952 年，正是自贡盐业恢复时期，张家坝一批大平锅投入生产，年产原盐达 12 万吨，相当于 1950 年，自贡全市的产盐量，这是了不起的，为自贡盐业的复兴，起到了关键性作用。

传统制盐技术，是世代沿传下来的，在盐场烧盐工匠中生了根。因此，工匠非常了解，操作娴熟，推广应用快，而且节省投资。同时盐场对传统盐制进行了一些重要改进。于是，传统制盐加新法制盐，使自贡盐业在制盐方面得到了大幅度的提高。到 1952 年，全市产盐 25.83 万吨，已恢复并达到了历史上最好年份的水平。1950 年至 1953 年，历年自贡盐场产盐数量为：

1950 年 120 959 吨，

1951 年 222 462 吨，

1952 年 258 286 吨，

1953 年 262 573 吨。

总的来讲，建国初，自贡盐场广泛地、积极地应用传统井矿盐技术，这包括传统钻治井技术、传统提捞采卤技术、传统竹笕输卤技术及传统制盐技术；同时政府推行了积极的盐业政策，如，“疏通场盐”“以销定产”[9] 等一系列扶持盐业的方针和政策。为此，在三年经济恢复时期，取得了丰硕成果，如，大批盐井和气井的修复和投产，卤水和天然气产量成倍的提高，原盐产量直线上升，制盐成本逐年下降，盐税大幅度的增长，为国家建设积累了大量的资金。自贡盐业，由建国前夕盐场的破败和瘫痪，到建国初全面的复苏，为盐业生产大发展创造了有利条件。



## 第二节　传统钻井技术与郭家坳岩盐体的发现

### ——应用传统钻井技术加深达德井发现郭家坳盐井[①]

建国初，自贡郭家坳盐厂，凿井工匠应用传统钻井技术[②]，在自贡盐场历史上著名的火井坡矿区，新发现了一个岩盐体[③]。这个岩盐体的发现和开采，增加了新的卤源，为自贡盐场生产的恢复和发展，作出了重要的贡献。

**一、郭家坳盐体的发现**

郭家坳盐体，在地质构造上位于自流井构造的南翼，靠近构造核心轴线部位；在地理位置上，又属于自贡盐场历史上有名的火井坡矿区，即位于自流井与贡井两地之间，交通方便。这个盐体，于1956年，凿井工匠就是应用上述传统钻井技术，在达德井加深中发现的。

鼎鼎有名的达德井（又名洪涌井、鸿兴井），原先是一眼生产黑卤和天然气的老井，从清乾隆年间开办迄今，长达200多年的历史，该井于1954年4月28日，由国营新华二厂起复，淘至井深为1 021.67米，采用电动卷扬机车推卤，日产卤水300余担，卤咸221.87克/升左右，同时，又烧天然气14口锅（折计盐产量1.4吨）。此后，卤源逐渐下降，到1955年底，日产卤水降为180井担，天然气煎盐增至30口锅，计产盐约三吨。1956年初，井黑卤源面临枯竭，产卤又大幅度下降，仅日产卤水130井担，但熬盐锅口未变。当时，盐厂卤源紧缺，不能满足制盐生产的急需。为了挖掘矿山老井的潜力，以增加和开辟新的卤源，发展井盐生产。于是，由自贡市盐务局安排基建项目，决定加深达德井，现场凿井工程技术由井口管事陈炳武指挥。于是，在原有井深的基础上，运用传统工具银锭锉、马蹄锉继续向纵深开拓。

达德井加深工程，于1956年5月9日开工，先淘井从1 021.87～1 030.67米，见老井硬底，然后，采用传统旧式顿钻法从原井深1 030.67米开始加深，克服了老井井壁垮塌、岩石硬、裂缝大等的重重困难，钻至井深1097.83～1102.25米井段发现岩盐，纯盐层厚2.65米（见表10－2）。为便利开采，又在盐层底板岩层以下，继续下钻，再腾一段余位，即钻至井深1 115.88米完钻。达德井加深从1 030.83～1 115.88米，总计加深井段85.21米。该井于本年8月20日正式投入开发，做到了当年加深，当年见效，从此，便揭开了郭家坳盐体开采的历史。郭家坳盐体的新发现，如实反映了传统钻井技术在今天仍有重要的科技和生产价值。[④]

---

① 本节根据自流井盐厂《达德井井矿卡片》记载及盐体40多年的开采资料撰成。

② 关于传统钻井技术，见本章第一节1. 传统钻治井技术的应用。

③ 该盐体属于郭家坳盐厂（今名为自流井盐厂）发现和管辖，故命名为郭家坳盐体。以此区别自贡大坟堡盐体和大山铺盐体。

④ 在此，简述盐场应用传统钻井术，加深（老井）达德井的起因及简略过程，发现岩盐，乃是必要的。

表 10－2　达德井盐层的发现及其厚度

| 井深（米） | $A_1$ 盐层分层 | 钻厚（米） |
|---|---|---|
| 1 097.83～11 198.58 | 上部为白色岩盐，下部为红色岩盐 | 0.75 |
| 1 098.58～1 100.15 | 灰白色硬石膏岩夹层 | 1.57 |
| 1 100.15～1 102.05 | 白色岩层 | 1.90 |

采自：自流井盐厂《达德井井矿卡片》记载

## 二、郭家坳盐体的特点及开发

该盐体发现后，为弄清和了解盐体的储藏规模、分布范围、盐层厚度、矿石组分等，于是，结合矿山生产，同时进行开发勘探工作。从 1960 年至 1978 年，先后钻生产井及更新井八眼，利用探井一眼，共计十眼井。同时在盐体周围另钻探井四眼（即探$_{二一}$、探$_{二二}$、探$_{二三}$、流$_{二二}$井），现已查明了岩盐体的形态及其储量。其特点：盐体面积小、盐层薄、厚度变化大（受地下陡急带控制）、主要盐层纯氯化钠含量在 96% 以上，副产物钾、硼等含量丰富，盐体位于构造南翼，呈似透状，产出在三叠系嘉陵江组第四段第四层中，分上下两层盐，上层为 $A_2$ 盐层（即花岩盐），钻厚 2.0～7.3 米，下层为 $A_1$ 盐层（即纯岩盐）钻厚 2.0～25.7 米，一般厚约 2～4 米，盐层井段取心表明，地质构造较复杂，小断层多，倾角变化大（0～90 度），局部有倒转现象，盐层埋深 1 060～1 124 米，面积为 0.2918 平方千米，总计储量（$A_1+A_2$ 层）为 177.4 万吨。1956 年至 1990 年，累计产量 101.61 万吨，剩余储量仅 75.79 万吨，采收率已达 57.28%。

根据上述盐体的地质特点，其开发方式，以传统的提捞法采卤工艺为主，兼有单井对流等法采卤。1956 年至 1990 年间，在郭家坳盐体，先后钻成一批岩盐生产井，盐井的采卤方式及其产量，简述于后：

第一，达德井。1956 年 7 月 30 日，该井在加深中发现岩盐，同年 8 月 20 日开发并率先采用传统的提捞法生产。自 1956 年至 1972 年，累计采卤为 300.61 万标立方米（折计固体盐 30.06 万吨）①，开采寿命和总计产盐量远远超过其他采卤工艺。

第二，郭二井。该井于 1960 年 1 月开钻，至 1961 年 10 月钻成。完钻后，仍采用传统的提捞法生产。1961 年 11 月至 1966 年 3 月，累计产岩卤 47.41 万标立方米（折计固体盐约 4.74 万吨）。

第三，郭三井。该井于 1960 年 10 月开钻，至 1961 年 10 月完钻。亦采用传统的提捞法生产。1961 年 11 月至 1962 年 10 月，累计产岩卤 3.65 万标立方米（折计固体盐约 0.36 万吨）。

第四，郭四井。于 1962 年 11 月开钻，至 1963 年 2 月完钻。采用单井对流及传统的提捞法生产，1963 年 4 月至 1979 年 4 月，累计产岩卤 270.69 万标立方米（折计固体盐约 27.07 万吨）。

---

① 1 标立方米卤水，折固体盐 100 千克。下同。



第五，郭五井。于1966年4月开钻，至同年8月完钻。采用传统的提捞法生产，1966年9月至1970年3月，累计产岩卤54.20万标立方米（折计固体盐5.42万吨）。

第六，红六井。于1967年4月开钻，至同年8月完钻。先后采用单井对流、传统提捞法等生产，1967年9月至1990年3月，累计产岩卤168.10万标立方米（折计固体盐16.81万吨）。

第七，红七井。于1969年5月开钻，至1970年2月完钻。采用单井对流和传统提捞方式采卤，1970年4月至1973年，累计产岩卤35.56万标立方米（折计固体盐约3.55万吨）。

第八，红八井。于1974年2月19日开钻，至同年3月30日速钻成功，采取传统的提捞法及潜卤泵生产，1975年3月至1990年，累计产岩卤135.86万标立方米（折计固体盐13.58万吨）。

第九，红九井。1978年1月开钻，至1979年2月由厂自行应用绳式顿钻法钻成。其井身伸直，工程质量好，达到优质井的标准。1979年投入试产，因井下盐层未与大腔连通，产卤成本高，加之行业内自产卤限产，从此该井停产。

郭家坳盐体，从1956年至1990年，累计产岩卤1 016.10万标立方米（折计固体盐101.61万吨）。最高年产量为1968年产卤91.36万标立方米（折计固体盐约9.13万吨），一般年产量为20～50万标立方米。正常生产的卤井最多为6眼，一般为3～4眼。

### 三、盐体开发的经济价值

郭家坳盐体，是自流井构造也是当时自贡和四川发现的第二个岩盐体，这个岩盐体发现和开采以来，已有42年的历史，而且至今还在继续开发。虽然这个盐体小，但是作用和贡献都很大。

#### （一）为盐厂提供了充足的卤源

随着三年国民经济的恢复和第一个五年计划的实施，自贡盐业获得了飞跃的发展，如，1951年，全市产盐为22.24万吨，比1949年产盐12.05万吨提高了85%；1956年产盐猛增到41.69万吨，这又比1951年提高了87%。由于盐业突飞猛进的发展，制盐的卤水严重不足，如，自流井盐厂卤水资源短缺尤为突出：“建厂之初，工厂全部继承传统的采卤制盐技术，部分井仍用牛推汲卤。……卤（水）资源短缺，能源紧张，制盐生产的发展受到制约。”[4]郭家坳盐体发现和开发后，这个厂的卤水资源逐年增加，自给程度也不断提高，在钻采高产时期，该厂制盐卤不仅做到了自给自足，而且还有富余，如，1968年产岩卤91.36万标立方米（折计固体盐9.14万吨），其中出厂岩卤31.72万标立方米（折计固体盐3.17万吨），解决了兄弟厂的燃眉之急。为此，郭家坳盐体是继大坟堡盐体之后，成为自贡盐业发展卤水来源的第二个基地，尤其为自流井盐厂提供了充足的卤源。自此，该厂卤水紧缺得到了缓解，正如《自流井盐厂志》中所述：“1956年7月，在达德井发现岩卤后，火井坡成为自贡市第二个岩盐产区。此后，该区先后钻成了一批岩盐井……供卤困难得以彻底解决。资源问题不再成为妨碍生产的拦路虎，盐的生产迅速发展。”[4]

（二）盐体中含丰富的化工原料

自贡地区，从清代迄今，先后发现和开采有四个岩盐矿（体），即大坟堡盐体、大山铺盐体、长山盐矿及郭家坳盐体。在这四个盐矿（体）中，前三个盐矿（体）开发的岩卤，富含氯化钠，是制盐的重要原料。最后者不仅含丰富的氯化钠，而且还聚集了宝贵的化工原料。根据取岩卤水样综合分析，各种主要元素含量见表 10－3。

**表 10－3　郭家坳盐体化学组份**

| 分析项目 | $Cl^-$ | $Br^-$ | $I^-$ | $SO_4$ | $K^+$ | $Na^+$ | Li |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 含量 | 164.47 | 0.070 | 0.001 | 29.04 | 7.47 | 116.48 | 0.016 |
| 分析项目 | $Sr^+$ | Ca | Mg | $B_2O_3$ | $HCO_3$ | 总固形物 | |
| 含量 | 0.030 | 2.48 | 0.25 | 0.172 | 0.036 | 320.55 | |

**注：据自贡市盐务局中心化验室分析，1956 年。**

从上表看出，盐层的化学组分，总固形物为 320.55 克/升，除 $Cl^-$ 164.47 克/升及 $Na^+$ 116.48 克/升主要元素外，同时还富含 $K^+$ 7.47 克/升，$B_2O_3$ 0.172 克/升及少量稀有元素，尤其 $K^+$ 含量高，则是这个盐矿显著的特点。

自流井盐厂产出的化工原料，盐场俗称“鹵水、鹵巴”①。所谓鹵水即是敞锅制盐后剩下的母液，其浓缩结晶物为鹵巴。鹵水、鹵巴中集存了极其丰富的硼、钾、溴、碘、锂、锶、铷、铯、镁等元素，是重要的化工原料。该厂主要产盐，一般不生产化工产品，因此，将鹵水、鹵巴出售给自贡张家坝化工厂，可以收回大量资金，为降低制盐成本，提高经济效益起了重要的作用。为此，鹵水、鹵巴——又冠以新名“盐的副产品”。其产量的多少，随卤水品种和盐产量的变化而变化。一般是黄、黑卤中普遍含量高，同时该厂自产岩卤中含量亦较多，其他三个盐矿采出的岩卤，含量少或不含（如长山盐矿的岩卤）。由此，随着自产黄、黑卤和岩卤的减少，外购长山岩卤的增加，所以，产量逐年减少，如，1958 年，鹵水和鹵巴总计为 11 107 吨，至 1990 年，鹵水、鹵巴仅为 1958 年的 1.04%[4]。

（三）盐体的经济价值

20 世纪 50 年代初期，是自流井盐厂飞速发展的时期，卤水资源严重不足，1956 年达德井加深发现郭家坳盐体，接着先后钻探了一批岩卤生产井，缓解了制盐与卤水的矛盾。

盐体采出的岩卤，属于厂内自产卤水，然后加工成产品——食盐，并根据一年的总计盐产量，由厂统一计算成本盈利或亏损，向国家上缴利税或报亏。因此，盐体的发现和开采，其重要的经济价值可从全厂综合利税中反映出来。据《自流井盐厂志》述到：从“建厂至 1990 年，累计生产卤水 1 300 多万标立方米，天然气四亿多立方米，产盐 365 万吨……实现利税 $4.429 \times 10^8$ 元”[4]。1982 年以前，该厂全是产盐，之后，仍以产盐为主，兼多种经营，有麻袋、干电池等。近几年来，虽然在盐业和多种经营市场都不景气的情况下，从建厂至 1990 年，创“利税

① 卤水、卤巴——该厂主要是用岩卤与黄卤混合制盐后剩下的母液鹵水、鹵巴，或是以黄卤与黑卤混制盐剩下的母液鹵水、鹵巴。自贡盐场的化工原料，主要还来自黄、黑卤及岩卤中含的化工元素。



4.429 亿元”，其中仅盐税多达 4.112 亿元，占全厂综合利税的 93%，取得了良好的经济效益。这与开发矿山，加强管理、应用先进技术等是分不开的，尤其矿山方面起了重要作用，主要有两个方面：

第一，岩卤生产占全厂的主导地位。截至 1990 年以前，全厂累计自产卤水 1 300多万标立方米，其中岩卤产出 1 016 多万标立方米，占 78%，黄黑卤产出 290 多万标立方米，仅占 22%，可见，盐体采出的岩卤占据全厂产卤的主导地位。但无论岩卤或黄黑卤，多系采用传统钻采技术开发的卤水。

1957 年至 1967 年，基本上是用自产卤水制盐，实现利润 3 168 万元，则是该厂 40 余年中经济效益最佳时期。

第二，低压天然气的开发。1957 年，该厂有天然气井 31 眼（不包括小井），这些气井是清代和民国时期钻成的老井或旧井。建国后，仍采用传统钻治井技术起复、加深及修治，并采用裸眼、簾盆采气，以维持连续生产，1958 年至 1990 年，累计采气量 4.28 亿立方米。这些丰富的自产气，全部用于煎制低压盐，可大大降低制盐成本。

为此，建国初期，自流井盐厂凿井工匠运用传统钻井技术，在自贡盐场著名的火井坡矿区，新发现了郭家坳盐体，自此，该厂开辟了丰富的卤源，满足了制盐生产的需要，同时，制盐后的母液即所谓䶁水、䶁巴，又为兄弟的化工厂提供了大量的化工原料，于是，促进了该厂盐业生产的飞速发展，创造了良好的经济效益，为国家作出了巨大贡献。

## 第三节　传统钻井技术与张家山气藏的发现

——应用传统钻井技术加深源丰井发现张家山气藏①

老井加深。前已述及，1956 年自贡盐场郭家坳盐厂，应用传统钻井技术，在自流井火井坡老矿区达德井加深中，新发现了郭家坳盐体。之后，于 1964 年，贡井盐厂仍用传统钻井技术②，在该厂老矿区张家山源丰井加深中，发现了丰富的天然气。张家山矿区，位于自流井气田的西端（即自流井盐场的西部），其地下天然气的新发现，不仅使经过 1 000 多年开采，面临枯竭的自流井气田焕发了青春，而且亦为制盐提供了大量的能源。为此，贡井张家山气藏的发现和开发，先得从源丰井谈起。

### 一、源丰井的基本情况

（一）源丰井简史

第一，井名：原名天星井，后更名源丰井，现编井号 36 号。

第二，井址：地理位置，位于贡井张家山。地质构造上，位于自流井气田西端南翼。

---

① 本节据自贡市贡井盐厂源丰井的历史档案和张家山气藏开发史写成。

② 贡井张家山源丰井加深，所应用的钻井技术参见本章第一节二、（一）传统钻治井技术的应用此不赘述。





第三，钻井年代：其一，钻井起止，开钻日期为 1901 年 10 月；完钻日期为 1925 年 9 月；其二，起复日期，1953 年 10 月；其三，加深时间，于 1958 年、1964 年及 1976 年三次加深。

第四，井别：历史为黑卤及天然气井，即水气同采井。

（二）井身结构

第一，井径：原 4.6 井寸（折今 165.60 毫米①），但加深后终孔直径为 100 毫米。

第二，井深：原井深 281.76 井丈（折今 1 014.34 米），加深后最终井深 1 266.94米。

第三，井口采气装置——簴盆：高度 6.6 井尺（折 2.38 米），底口直径 7 井尺（折 2.52 米），上口直径 3.4 井尺（折 1.22 米）。

第四，固井，共计五层：

第一层，石圈，下入井深 5.84 井丈（折 21.01 米）。

第二层，木柱深度，23.98 井丈（折 86.33 米）。

第三层，表层套管，8 英寸 ×157.7 米。

第四层表层套管，ф159 毫米 ×266.15 米。

第五层技术套管，5 英寸 ×1 102.87 米。

第五，主要产层：

其一，气层，原产气层 270.96 井丈（折 975.46 米）。加深后，气主要产于三叠系下统嘉陵江组第三段中，分三个气层：

第一个气层，1 189.17 ~1 191.28 米。

第二个气层，1 255.45 ~1 256.13 米。

第三个气层，1 265.77 ~1 266.94 米。

其二，黑卤产于三叠系嘉陵江组第五层中，井深分别约 975.96 米、995.76 米。

（三）钻井及开采中卤气简况

本井于 1901 年 10 月开办，至 1923 年钻达 975.96 米，初获见功，日产卤 240 井担。因卤源欠丰，继续半推半锉，于 1925 年，钻至井 993.6 米，新见烟子水，日增卤 90 余井担，咸量约 210 克/升。1925 年 6 月改牛推为蒸汽机汲卤，日产卤为 367 井担，卤咸无变化。1933 年，淘井至 270.96 井丈（折 975.45 米），见天然气②，煎锅 12 口（折日产气量 1 200 立方米）。1953 年 10 月起复，叼下木柱套管及淘井，至 1954 年 4 月完工，这时井深 271.36 井丈（折 976.89 米），即开始生产，日产卤 340 井担，井筒内水柱高度 43.2 米，不久，水柱下降，产量大幅度降低，延续到 1958 年第一次加深时。

---

① 1 井寸折计 36 毫米，1 井丈折计 3.6 米（下同）。

② 此处天然气在钻井中尚无发现，由于气量少，卤水淹没的原因。后因卤水枯竭，在淘井中出现。



## 二、源丰井加深发现了张家山嘉$_{三}$气藏①

源丰井位于自流井气田西端，这里气卤资源丰富，历史上钻井密集。于1882年，由长源井钻探到嘉$_{五}$组，揭露了嘉陵江组气藏的开发史。1964年，老井源丰加深，又揭开了嘉$_{三}$气藏的序幕。该区地质构造特点，主要沿着黄葛坡及龙潮断裂带呈东西向带状分布，分姚家山、张家山两个裂隙系统，明显受断裂带的控制。源丰井正置于张家山裂隙系统上，因而储集极其丰富的天然气。

源丰井系张家山矿区遗留的老井，于1901年开钻，至1925年完工，采用提捞法汲卤，篾盆装置（低压）采气，一直延续到建国后。为寻找和钻探该区地下天然气，盐厂选择了源丰井加深。从1958年至1976年，应用传统钻井技术，先后三次钻探加深：第一次加深，即1958年，从井深1 029.4年至1 189.17米，加深159.77米，日产气量增至6 600立方米；第二次加深，即1964年，由井深1 189.17～1 202.55米，共加深13.38米。当开钻仅加深0.5米时，即井深1 189.67米，钻遇天然气，并发生井喷，测试关井压力34千克/平方厘米，日无阻流量为9.7万立方米左右。这口井266米以下，为裸井眼，由于天然气发生井喷，淡水沿井筒渗透，井壁岩层发生严重垮塌，采气极不正常，于是，先后下入20.32厘米×157.71米，159毫米×266.45米表层套管及12.7厘米×1 102.87米技术套管，封隔井内垮塌岩层，即后才保障了投入正常生产。1966年至1971年间，正常采气压力8～12千克/平方厘米，日产气量约5.6万立方米。但至1971年后，产气量逐渐下降，随之井口压力也降为5～8千克/平方厘米；于1976年，进行了第三次加深，从井深1201.55～1266.94米，加深64.39米，日产气量恢复到5万立方米。该井历经长达30余年的开采，目前步入晚期。

当源丰井钻获高产的低压气后，便接着在张家山气区布置了一批新钻及加深的气井。1966年，流$_{一五}$井钻达井深1 248米，获得日产气无阻流量12.50万立方米。随后，流$_{一五}$井、流$_{五}$井、源丰井再加深，均获高产的天然气。1964年至1997年，张家山采区前后有源丰、流$_{一五}$、流$_{五}$、贡$_{四}$等井钻获成功，累计产气约8亿立方米，平均年产气量2 353万立方米，其高产时期于1966～1978年，日平均产气10.30万立方米，占整个气田总产气量的45%[10]。现今还每月产气达60万立方米左右，仍为气田的主要产气区。

由上可知，应用传统钻井技术加深源丰井，发现了贡井张家山嘉$_{三}$气藏，为今天开发和增加新的气源作出了巨大贡献。

## 三、贡井张家山嘉$_{三}$气藏开发的经济价值

贡井张家山嘉$_{三}$气藏的开发，其经济价值主要包括两个方面：一是利用老井加深，工程投资省、见效快；二是气井钻凿成功，长期投入生产利用，经济价值巨大。

### （一）应用传统钻井技术加深老井的优点

张家山老矿区，历史上钻井颇多，井群密集，这为开发嘉$_{三}$气藏创造了条件。

---

① 所谓“嘉$_{三}$气藏”，此指中生界三叠系下统嘉陵江组第三层（段）中储藏的天然气，简称“嘉$_{三}$气藏”。

因此，应用传统钻井技术加深源丰（老）井，其优点钻井工程投资最省，可节约大量原材料及不占用新土地。

第一，老井加深工程投资极省。源丰井原有深度为1 029.4米。此井，于1976年至1985年，先后三次加深共计234.54米（至井深1 266.94米），仅占全井深度的18.51%。若是新钻井深1 266.94米，需要投资60万元。其中新加深工程费用约占了18%，减少了82%的钻井工程费用，即可节省40万元左右①。

第二，利用原井地面设施，可节省大量的原材料。源丰井于1925年见功投产，延续生产至1958年，因而，地面种种设施齐备，如，井架、碓房、车房、柜房等，这些设施，只需简单地略加维修，即可利用进行气井加深工程。为此，可节省堆积如山的木、竹、石等原材料。

第三，利用现有井场，不占用新土地。川盐生产一般新钻一眼1 000米深度的盐井，要占用大片土地，少则2~3亩（1亩=667平方米），多则4~5亩。而源丰井加深，全是利用原有的井场及房基，节约了大量的宝贵土地资源。

（二）张家山天然气的利用

第一，8亿立方米天然气制盐多少。当源丰井加深发现张家山嘉$_{三}$的天然气，接着相继又钻获了五口气井。1964年至1997年间，累计产气量近8亿立方米②。按1吨低压盐耗气量600立方米折计，8亿立方米天然气则可制盐133万余吨。其盐产量相当于自贡盐场各大盐厂，从1964~1965年两年累计盐产量的总和，这个贡献是了不起的。

第二，天然气的价值。张家山开采的天然气，属于盐厂自产气，称为“低压天然气”，简称“低压气”，盐厂主要用作燃料制盐。外购石油部门的天然气，又名“高压气”，曾经用来制盐。关于天然气的价格，建国以来，特别是从1959年开始，自贡的工业用气核价变化甚大，前后相差数十倍。该区采出的8亿立方米低压气，按平均每1立方米气0.50元计价，则价值可达4.0亿元。其中，仅源丰一口井，产出气量占采区总产量之半（4亿立方米），折价值约2亿元。可见，其经济价值之大。

众所周知，盐卤是制盐的重要原料，而天然气又是制盐的宝贵燃能，为此，传统钻井技术发现和开发张家山嘉$_{三}$气藏，在今天的建设中又立下了新的功劳。

## 第四节　传统钻治井工具的原理在今天钻探工程中的应用

我国传统钻治井工具，经过了长足的进步和发展，种类繁多，铸造精湛，其科技原理内涵丰富，在今天对石油（天然气）、井盐、地质矿山、水文地质等工程上所用的钻探工具（如钻头、修井、打捞工具等），入井的探测仪器，进行生产、

① 当时，若新钻一眼与源丰井同深度的盐井，需要投资60万元左右，据此推算，该井减少了82%的工程费用，则可节省投资约40万元。

② 张家山钻成的气井有：源丰、流$_{一五}$、流$_{五}$、贡$_{四}$，长兴$_{一}$及长兴$_{三}$计六眼井，累计产气近8亿立方米，其中，源丰井的产气量占约半，为此，源丰井贡献最大。



试验、科研、设计、创新、改进均有借鉴和启迪作用。

中国是人类深井钻采技术的先驱。自宋代迄今900多年来，以开发井盐为中心，发明和创造了众多的钻治井工具，形成了独特的工艺技术体系，这是中华民族优秀的古代文明之一。这些发明和创造不只推动了中国古代社会的前进，也推动着世界的科技进步。

众多的钻治井工具，在悠悠岁月中具有顽强的生命力和无与伦比的延续性。观今鉴古，古代井盐工具与今天油、气田和矿山等所使用的工具，是何其相似！它们之间既有鲜明的共同特征，又纷呈异彩。

工具是生产力的主要因素，“工具的发展是社会生产力发展水平的物质标志”[11]。“工具的发生和发展和其他社会情况发展一致，都有其发生、发展、发达、消亡及新陈代谢的过程，也都有其连续性。”[11]只要人类存在，生产力的升级换代，就是依次继起和绵延不绝的。据我们对传统井盐钻探工具进行全面系统的考证，并对其发展规律进行科学的探索后，发现有两大特点：一是纵向的继承性，二是横向的渗透性。继承性主要反映在今天的钻井工具是古代井盐工具的演进和发展，而渗透性既反映在自身的器具和其他工具的启发方面，又反映在传播和影响油、气田及矿山所用工具方面。这种传播和影响就是古代井盐工具的原理及工艺技术的延伸和应用。申力生所编《中国石油工业发展史》云：“我国石油与天然气井的挖掘、钻凿、及其工艺技术的发展，是和掘凿盐井密切相关的。”同书又说：“我国古代顿钻钻井的七个程序（本书分九个程序），同现代钻井比较，除设备器材的材质以及施工工艺技术条件有所不同外，其实质与效果几乎没有很大差异。”[12]古代的银锭铧就是今天顿钻所用的“一”字钻的前身；古代连接工具挺子类同现在钻井的加重杆；古代盐井下用的木竹、水柱，与现在油气井下的表层和技术套管作用一样；古代的汲卤筒、搧泥筒、吞筒，实际上就是现代底部带有单向阀的提捞筒和捞砂筒；古代的吊脚提须是有效捞取井内绳索和泥石的打捞工具，类同现代的捞矛（外齿捞矛）；古代盐井取难用的夹签、五股须等类同现代钻井的打捞工具内齿捞矛；独脚棒类同今天的边钩；柳穿鱼类同今天的中钩；扫镰类同今天的壁钩；古代的打草把堵塞井腔犹如现代油气井补井用的水泥塞；古代钻井稳定扶正钻具的袖笼子、梭边和现代钻井用的扶正器类似。更为有趣的是，古代打捞工具上的弹性竹质窝弓装置，其功能和原理曾为地质专家所称赞并受到启示，在发明和改进井下物探工具的贴壁装置时起了一定作用。

以上事例说明，今天的科学技术，正是由过去的科学技术发展而来的，今天钻凿盐井、油、气井和矿山开发等所用的工具，正是古代井盐工具的演进和发展。古代井盐科学技术与其他科学技术一样，有着绵延的历史继承性，其本身与相关联的学科之间，又有着互相借鉴的横向渗透性，这是历史发展的规律。为使古代文明在新的方位上释放能量，我们在研究传统的井盐科技和工具的同时，进一步探讨其今天的作用，这无疑具有巨大的现实意义。

## 一、应用传统工具“打捞篼”的原理研制成功现代先进的“打捞杯”

川西南矿区的钻井技术（工艺）人员，多年来，不辞辛苦，深入实际，了解情况，调查研究，针对钻探工作上的重大课题，进行科研攻关。为了扩大视野，

开拓思路，他们讲："我们经常到盐业历史博物馆来学习老祖宗好的经验，受到启示"①。并运用古代工具原理，研制出油气井钻探工程上多种先进的打捞、修井、取心等工具。20 世纪 60～70 年代开始研制打捞接头、打捞矛，20 世纪 80 年代初研制成功深井全遮盖式打捞杯[13]（简称打捞杯）等现代深井工具。这些工具的研制成功，对四川尤其是川西南油气资源的勘探和开发，作出了积极的贡献。

人所皆知，在油、气井钻探中，取岩心对于了解地下岩层、构造、岩石的孔隙度及其含油气性质等都是十分重要的。但是，对于四川油气层取心层的岩性多为碳酸盐岩石，裂缝发育，岩性硬脆易破碎，并含较多零星燧石、黄铁矿，尤其是钻头的硬质合金、或其他碎铁等物落在井底，采用常规的强磁捞取，井底总是捞不干净，这不仅会使钻头提前磨损，而且取心率低。为使金刚石钻头安全钻井和提高岩心收获率，则要求在取心前将余留井底的金属片及岩块打捞干净。为此科技人员应用古代井盐捞取工具的原理，于 20 世纪 80 年代设计了先进的打捞工具。由于这种工具的先进，在油、气井使用效果好，因此曾获矿区三等奖和四川省石油局四等奖。

古代打捞篼又名网篼。其结构简单，由竹把手、铁杆及打捞篼三部分组成，打捞篼是用竹、麻巧制而成，上口圆阔（大小与井径约同），下部束扎在铁杆上，呈漏斗形状，它的横断面为圆环状（见图 10－1）。这种工具结构简单，制作容易、使用方便。

用打捞篼捞取井下落物时，将它与挺子（加重杆）连接，下入预计的部位，然后上下往复提动，则可捞取水面或井中的木、竹、麻等物。据余福和（已故）一家五代管事（相当于今技师职称）祖宗相传，这种捞取工具在清初发明，一直（在盐场）沿用至今。现在自贡盐业历史博物馆保存的打捞篼就是他制作的。

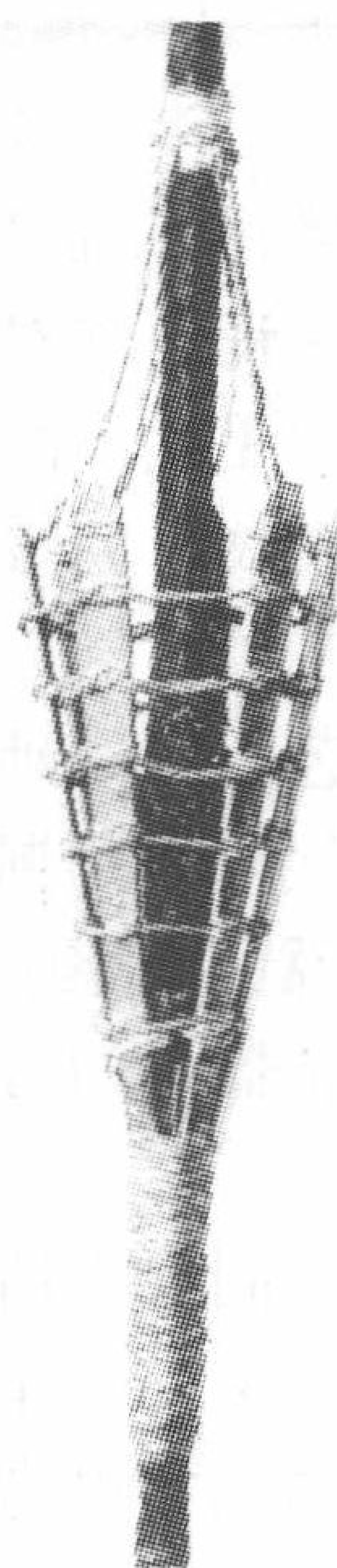


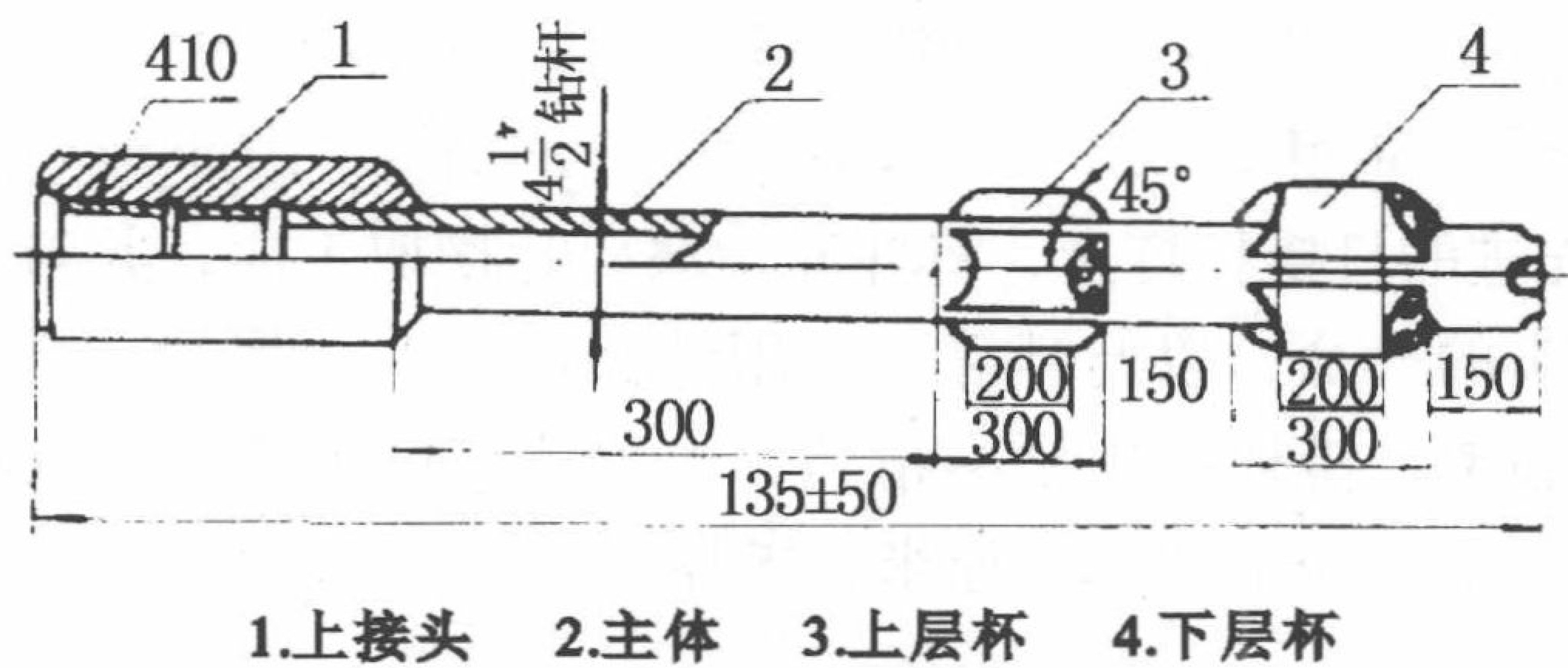
**图 10－1　传统打捞篼（又名网篼）**

现代打捞工具打捞杯分 23.32 厘米和 15.24 厘米两种形制，它与古代打捞篼一样，具有结构简单，加工方便的优点。它的结构也分为接头、主体及打捞杯（上、下两层）三部分。主体上焊有两层（三、四）打捞杯，主体端部正对打捞杯之间的空位做有三条槽口，每个捞杯端部由带孔的铁板组成（见图 10－2）。

捞杯分上、下两层（因每一层杯围绕主体分别有三个小杯和开三条槽沟），打捞杯下层杯和上层杯之间的夹角为 60 度，上层杯对下层杯间的槽沟空位，正好形成遮盖，两层杯重合，投影对井筒又形成全遮盖。上、下捞杯对头有三条槽沟，其作用为循环液流携带井底的金属碎片和岩块流经的通道，并且使下杯槽沟中流量最大。由于上层杯对下层杯之间的流道造成遮挡，这时，液流受阻后导致分流变向，于是大块的金属片和岩块因液流减小，在自重作用下落入下层捞杯中，实现

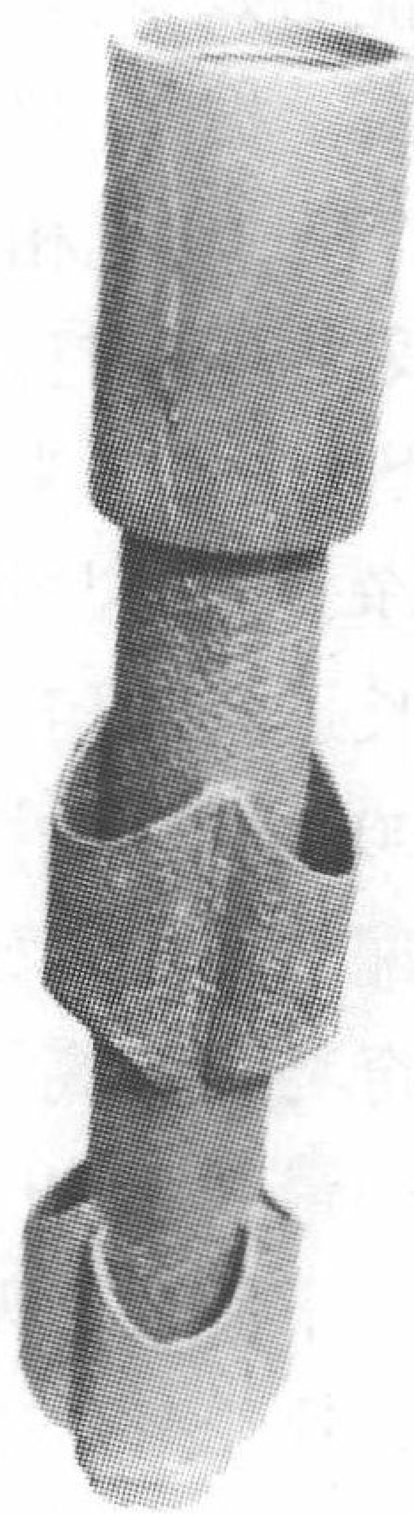
① 于 1989 年 5 月 23 日及同年 6 月 5 日的多次座谈中，何光荣工程师直言不讳地讲道："我们曾三次到盐业历史博物馆参观，学习老祖宗的经验。"前后还有其他工程技术人员也同样谈到这个问题。





1.上接头　2.主体　3.上层杯　4.下层杯

图 10－2　打捞杯结构示意图



打捞杯的外形

一次打捞。而较轻的碎烂金属和岩块被冲到两层杯以上环间高度，也由于停泵流速减缓后，因自重绝大部分落入两层杯中。这种先进的打捞法，为取心前井底保持干净，确保安全钻井和提高岩心收获率提供了条件。

为了便于了解打捞篼和打捞杯的原理，将两种打捞工具的主要特点对比见表 10－4。

表 10－4　传统打捞篼和现代打捞杯的对比

| 名称<br>特点 | 传统打捞篼 | 现代打捞杯 |
|---|---|---|
| 断面图形 | 圆环 | （花）瓣环 |
| 结构 | 捞篼、铁杆及把手 | 捞杯、主体及接头 |
| 排列层数 | 一层（或上、下两层） | 上、下两层杯 |
| 捞取方法 | 由于液体自然浮力，将木、竹等在水面或水中，用捞篼上下提动打捞 | 将液体加压、循环，金属碎片和石块因自重落入杯内 |
| 井别 | 古代盐井 | 现代油、气井及盐井 |

注：据自麦盐业历史博物馆打捞篼文物藏品及川西南矿区研制的打捞杯工具列出

打捞杯于 20 世纪 80 年代初研制成功，为现代深井提供了一种新手段。经长期

使用证明效果很好，是一种先进的捞取工具。其主要优点是①：其一，捞取效果显著提高。据12口井统计，打捞杯平均每次捞获量781.61克，强磁打捞平均每次捞获量375.10克相比较，前者比后者提高工效二倍多。其二，钻头使用寿命大大延长。采用强磁打捞，往往打捞不干净，金刚石钻头提前磨损，寿命短促，每个钻头平均取心25米左右。自1980年改用打捞杯打捞，由于井底的金刚石片及岩块捞获干净，同时与扶正工具、取心工具等配套使用，每个钻头平均取心约85米，寿命延长了3.4倍。1987年至1988年，该矿区为了勘探工作的需要，井下取心总长达3 000多米，由于采用先进的打捞杯打捞，将井底金属碎片捞取干净，并与其他工具配合使用，延长了钻头的寿命，以此计算，少用钻头近百个。其三，结构简单，奇巧，提高了岩心取心率，捞杯结构紧凑精巧，由主体、接头及捞杯三部分组成。最长1.19～1.35米，最大外径15.24厘米，捞杯为147～150毫米。捞杯共分上、下两层，两层杯投影重合后，由六个小杯（每层三个小杯）构成（花）瓣环状，这个环，对井筒形成全遮挡，所以，打捞效果最佳。由于井底打捞干净，使钻头工作平稳，受压均布，利于取心和岩心入筒。同时，采取了正确的组合、安放扶正器位置及改进取心工具等措施后，岩心收获率显著提高，最高岩心收获率达99.88%[14]，创造了取心率的新纪录。

现代深井打捞工具打捞杯，是川西南矿区工程技术人员设计和创制成功的，经实践检验，是一种理想的打捞工具，现已推广应用到其他油气田和井盐生产部门，为今天的油气田和盐业行业勘探与开发作出了贡献。

打捞杯的制作原理源于古代井盐工具，而又高于井盐工具（打捞篼），目前它由油气井推广到盐井——为现代盐井的钻探和开采增加了一种新的手段。

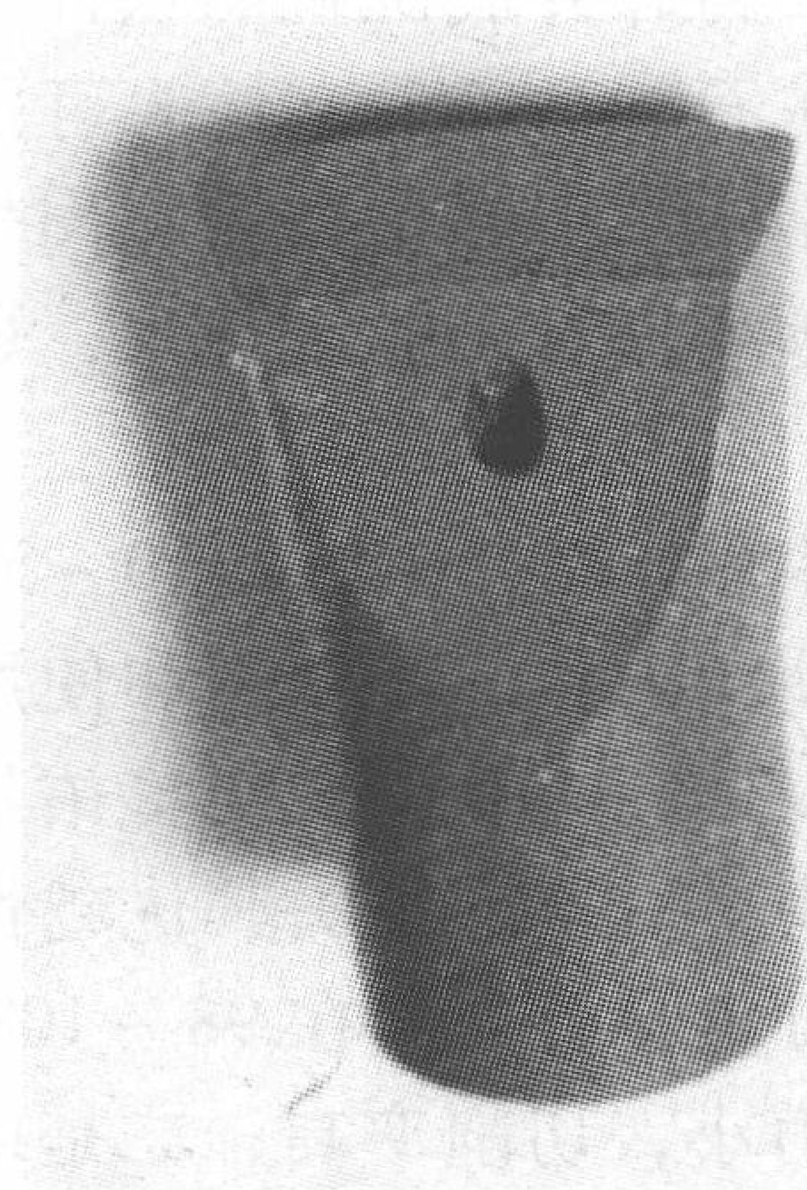
## 二、传统凿井工具的原理与现代矿山钻头的创制

地处自贡大安地区的自贡矿山钻头厂，20多年来生产的银锭钻头、马蹄钻头、十字钻头闻名省内外。该地区曾经是井盐生产十分发达和繁华的区域，井盐开采历史悠久，举世瞩目的世界上第一口深井——燊（兴）海井正好坐落在该区的西部，这里传统的井盐钻凿工具，仍在发挥它的作用。该厂生产的钻头与传统的银锭、马蹄等锉在形制结构和功能用途等方面都有相同点。

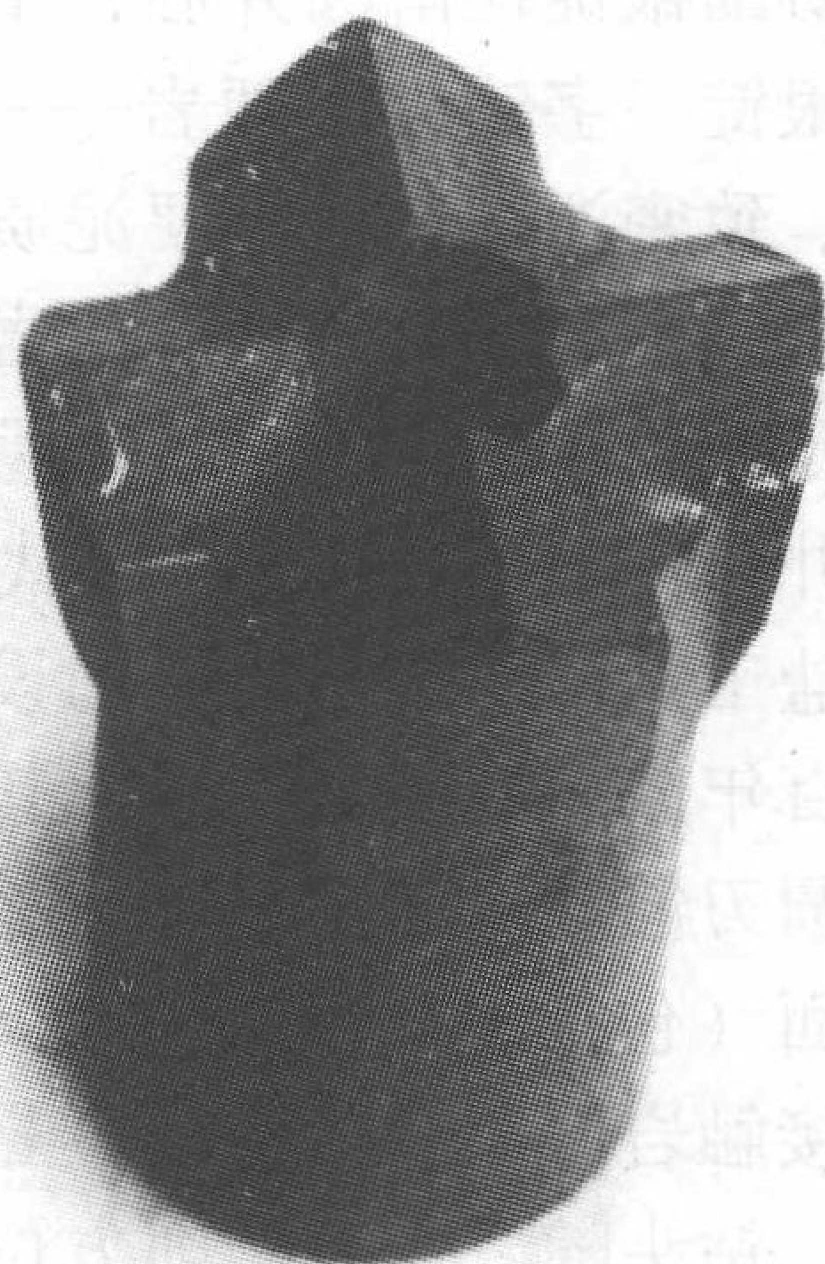
形制和结构：挺进牌银锭钻头、马蹄钻头及十字钻头均为一字形刃口，因此，又统称为一字形钻头。其外形和结构与传统银锭锉、马蹄锉基本相似，而名称完全相同（见图10－3）。

① 打捞杯，为现代油、气井打捞工具，但它是利用传统网篼工具原理研制成功的，其优点及功能，已有简洁的说明。反映了传统工具潜在的科技价值。



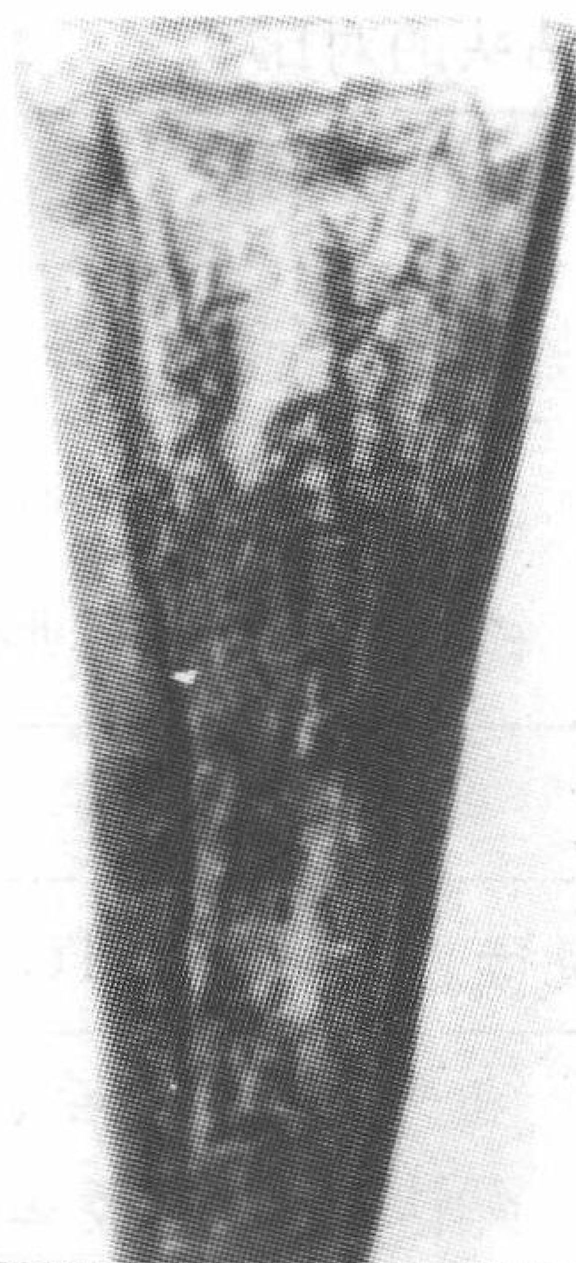


矿山银锭钻头



矿山十字钻头

采自：自贡矿山钻头厂



井盐银锭锉



井盐十字锉

图 10-3　传统凿井锉头与现代钻头的形制
采自：自贡盐业历史博物馆文物藏品

矿山银锭钻头的规格大小，视生产钻凿的需要而定，最小的直径为 40 毫米，裤径为 33 毫米，锥孔大径为 22 毫米，刀片槽为 8 毫米，弧径为 180～160 毫米。其刃口镶有 KO 型质合金，主刃为一字形，副刃为夹角型，两侧为斜面削进成泥槽，泥槽中部凿有圆孔，排除泥水，钻头中空。马蹄钻头与银锭钻头略有不同，泥槽呈马蹄形凹进，其余类同。规格大小如银锭。十字形钻头与古代十字锉相同，刃口为十字形交错，刃口亦为 KO 型硬质合金，硬度为 87。目前最大的直径为 49 毫米，裤径为 40 毫米，锥孔大径为 28.5 毫米，刃片槽为 10 毫米，总高为 70 毫米。

功能和用途：上述三种钻头与古代的凿井工具银锭、马蹄、十字锉相比较用途虽有差异，但功能基本一致。传统的银锭锉，主要钻凿硬岩；马蹄锉可凿泡岩，

并能协助银锭锉凿圆井腔；十字锉，钻凿坚硬岩石，粉碎井底沉积的铁件等。现代牌银锭一字钻头凿硬岩——石灰岩、花岗岩、铁矿石。马蹄一字钻头可钻凿软板岩、致密泥灰岩、坚硬泥质硬岩、软砂岩等。十字钻头可钻凿致密花岗岩、坚硬砂岩、坚硬铁矿石、石英岩等。其用途主要用于地质勘探、矿山开采，煤炭挖掘以及铁路、公路、航道等地下基础勘探。

井盐传统凿井锉头与现代矿山钻头的结构、形制基本相同（见表10－5）。古代井盐工具银锭、马蹄锉的设计科学，构造简单，使用方便。其创制和使用至少已有百年以上的历史，但就其一字形刃口来看，可以上溯至北宋庆历皇祐年间发明的圆刃锉。现代银锭、马蹄锉头源于古代钻井锉头，一字形钻头其优越性有三个方面（包括十字形钻头的刃口在内）：一是由于刃角小，一般在98～108度之间，接触岩层面窄，因此冲击（或旋转）钻井时阻力小，切削率高；二是由于钻进时，钻头随之变换切削方位，形成圆形切削面，从而钻成圆孔；三是一字形钻头既可纵向钻进切削，又可横向钻进切削，这在目前各类矿山和地质基础勘探中，是一种成本低、效用高、质量好的理想钻孔工具。

**10－5　井盐传统凿井锉头与现代矿山钻头的对比**

| | 井盐传统凿井锉头 | 现代矿山钻头 |
|---|---|---|
| 工具名称 | 银锭锉、马蹄锉、十字锉 | 银锭钻头、马蹄钻头、十字钻头 |
| 形制结构 | 呈银锭状、马蹄孤状、十字交错状均为一字形刃口 | 银锭状、马蹄孤状、十字错状均为一字形刃口 |
| 刃口硬度 | HRC　38～42 | HRC　87 |
| 材质 | 熟铁、普通钢 | 优质碳结钢 YT、TG 硬质合金 |
| 用途 | 银锭锉凿硬岩、马蹄锉凿泡岩，十字锉凿鏨碎铁等硬物 | 银锭钻头钻石灰岩、铁矿石，马蹄头钻头名软板岩、坚硬泥质硬岩，十字钻头钻致密花岗岩，坚硬砂岩。 |

**注：据自贡盐业历史博物馆文物藏品及自贡矿山钻头厂制造的钻头列出**

传统的井盐工具，种类繁多，功能各异，可借鉴的潜力还非常之大，虽不能说是一块未被开垦的处女地，但也是一块亟待挖掘和开发的领域。

## 第五节　传统钻（治）井铁工具制作工艺

我国古代井盐钻（治）井工具的制作工艺，历传近千年。至建国后，自贡盐场还普遍沿袭了这种铸造工艺，制作了众多的钻井和治井工具，分十一大类，计151种，其中铁工具占主导地位。为此，传统工具制作工艺是传统钻井技术的一个重要组成部分。

本章在第一、第二、第三节中，论述了自贡盐场应用传统钻采技术，在大量的开发地下卤、气资源方面，创造了巨大的经济效益和显著的社会效益，从而为



自贡盐业全面的复兴，作出了重大的贡献。其中应该包括传统工具制作工艺的功劳在内，在这里不再重述，本节专述传统铁工具制作工艺。

传统井盐钻（治）井铁工具，是以铁为原料制作的钻凿武器，功能神异，锻制科学，但制作工艺全是土法，操作全靠人力。其操作工匠俗称洪炉掌钳师。掌钳师是在继承前人冶炼、锻铸技术基础上身怀绝技的技术工匠，具有精湛技艺，善于运用其久经掌握的锻制技术和观测炉火的经验，制成坚韧牢实的钻（治）井工具，能使工具入井操作，尽量达到不断、不裂顺利完成井下作业要求。其中要领，冶炼火候至关重要。对于掌握好火候技术经验，或为家中世代相传，或为师门辗转传授，微妙之处，全靠个人心领神会积累经验得来，现在从事这项工作的多届耄耋之年或已死亡，大有广陵散从此绝矣之势。为此，本书作者采取走访及座谈方式，邀请老掌钳师现身说法，详供有关资料整理成篇。在凿（治）井工具方面，披露掌钳师提供实际操作锻制工具工艺部分，或可弥补诸多论述中对古代井盐工具制作工艺缺漏不足，并可窥古代锻铸工艺一斑。

## 一、传统钻（治）井铁工具制作工艺的概述

中国井盐开发，迄今已有2 000 多年历史。尤其自北宋仁宗年间创建的“卓筒井”问世以来，历代的井盐工匠为开发井盐事业，殚精竭虑，不断创造和改进了一整套钻（治）井的古代顿钻工具群，形成了一套独具特色的井盐生产专门技术工艺，其造型科学合理，性能灵巧神异，至今犹为国内外专家学者所叹羡。

在中国井盐钻凿技术发展史上，就其所使用的钻凿工具而言，第一阶段，自战国末年李冰凿广都盐井开始至北宋庆历、皇祐年间卓筒井出现止，是手工挖掘阶段，挖掘工具大都是手持的锄、锸、凿等简单铁制工具，挖成的井是大口浅井。第二阶段，从北宋到清初，是用简单机械凿井阶段，凿成的井是小口井（井径较小），所用工具是“圜刃”与“铁钎”之类。第三阶段，从清中叶以后到清末，是机械凿井阶段，凿成的井是小口径深井，所用工具有银锭锉、马蹄锉、垫根子锉、大小冲杠等。但无论哪个阶段，其凿井工具都是用铁质制成。所以铁是制作井盐工具及其他工具的必备原料。铁分熟铁、生铁和钢铁，它们之间的主要区别在于熔点的高低和含碳量的多寡，其实质上都是“铁碳合金”。由于它们化学的和物理的性能不同，所以用途也不一样。熟铁有延展性，加热后可锻打成各种器物。生铁比熟铁硬度高、性脆，不适于展接和锻接，而适于用“铸型”铸成各种器物。钢铁坚韧锐利，适于做工具和机械以及武器。中国井盐工具，除近代使用钢材外，其他传统井盐工具，大部分是用熟铁制成，但做工部分（如刃口）加钢。

传统井盐工具包括钻（治）工具其大部分都是用熟铁加热锻造而成。铁在锻造前需要加热到一定温度，目的是提高金属的塑性，降低形变抗力，以利于金属的变形和获得良好的锻后组织。所以，加热工序是热锻工艺过程中的一个重要环节。锻造能把金属组织中的气孔压实，把粗大的晶粒击碎成细小晶粒，并形成纤维组织。当纤维组织沿着零件轮廓合理分布时，就能提高零件的塑性和冲击韧性，因而锻制成的物件强度高，可承受更大的冲击力。金属锻件的各种形状，即是利用外力通过工具，使金属原坯件产生塑性变形而获得的。中国古代对于熟铁最重要的机械处理方法就是锻。锻，一方面可以使熟铁组织比较均匀细致，性能因而

提高；另一方面可以锻成所需要的形状。成型加工即是在加热氧化下进行的，它不仅可提高熟铁的机械性能，而且可提高其可塑性。

井盐工具是用熟铁作原料，加热，由手工锻造的。手锻工具有支持工具，如铁砧；打击工具，如大锤、手锤；夹持工具，如各种铁钳；量具，如直尺、卡钳；成形工具，如冲子等。手工锻造的基本工序有拔长（延伸、伸展），切割、镦粗、冲孔、弯曲、扭转、锻接等。传统井盐工具一向由盐场掌管井务的井管事设计制成图样或模型，交洪炉掌钳师依式制作，洪炉掌钳师则依式凭本人经验技术用土法进行制作。根据座谈、走访获知，其使用的工具和操作技术，大体与现代手工锻制方法相吻合。把加热好的原坯料放在平砧之上进行锻造，由掌钳师掌握金属的变形方向，从而获得符合要求的形状和尺寸的锻件。如掌钳师最初在做井盐工具的锉杆时，是用熟铁数块重叠加热进行锻打延伸。即在平砧上用大锤反复左右翻转进行锻打，俗称做火炮筒。将数节火炮筒锻接成锉杆，俗称逗火，即是将两段或几段坯料锻接成一体（锻接有搭接、咬接、对接三种方式）。锻接前，先将两节火炮筒对准旗子角（切削成三角形旗子状的逗火口）加热至锻接温度，在炉内直接撞接，然后夹出在砧上锻打成要求规格（搭接法）。为了保证锻接牢固，锻接温度应超过锻造温度，锻接时动作要快，开始锤击宜轻，即所谓“轻点快点”，然后以重力锤击。至于炉火温度，掌钳师则凭自己的丰富经验用目力来看炉内的火色加以判断，并利用鼓风的缓急来调节温度和作用的快慢，奇迹般地恰能达到锻造温度的范围（所谓锻造温度范围，是指始锻温度和终锻温度间的一段温度间隔），保证了金属在锻造过程中具有良好的可锻性（即塑性高，形变抗力小，以及在锻后能获得良好的内部组织），避免发生缺陷（如过热、过烧内部起裂纹等）。掌钳师熟练掌握炉火的经验，在当时没有科学测温设备，单靠经验用肉眼观测火候而恰到好处，并使锻件符合技术要求，这种技术，不能不令人叹服。其锻后冷却和热处理方法实际亦颇寓科学原理，如锻件（火炮筒）做成后即放置地下，这是现代科学中的空气冷却法。锻件如果冷却不当，会由于各种应力综合作用，产生翘曲，表面硬度高，甚至因裂纹而影响质量。中国古代最主要的热处理方法是淬火，就是将已经锻好的铁烧红放到水里一浸，使其质地坚硬。近代以来，由于井身不断加深，由数百米达千余米，而盐井口径只不过10厘米左右，钻、治井工具均为铁质，其重量多为数百千克，长度多为五六米，工具入井尚需携带连接及附属工具，而工具本身，则是由多块熟铁用土法锻制，用逗火工艺一节一节地接成整体的，入井作业，在重量力及震动作用下，这种土制工具能做到避免发生事故，保持不断、不裂、安全生产确属难能可贵。在盐场，围绕盐业生产的各个领域专业技术队伍中，井口管事是负责掌握井务的专业技术工匠，他们精通钻、治井及打捞技术，善于根据实际情况，随时设计制作许多相应的专用工具，交掌钳师制成，这些工具使用时得心应手，使困难迎刃而解，有效地解除井下发生的各种问题。由于设计工具的山匠管事与制作工具的掌钳师傅相互协作关系密切，所以盐场技艺高超的井口管事与洪炉掌钳师备受人们的青睐。近年来，中外来宾在参观自贡盐业历史博物馆陈列众多的传统井盐工具时，莫不对造型结构及锻制工艺表示钦佩和惊叹。现在自贡盐场传统钻（治）井工具，据1957年由熊佐周等编



著的《自贡盐场凿井及治井技术》一书统计，有各种工具89种。自贡市盐业历史博物馆搜集和珍藏的则多达600多余件，这些形式多样，功能各异的工具，都是诸多井口管事和洪炉掌钳师，辛勤劳动的结晶，其功绩亦堪伯仲。

## 二、传统钻（治）井铁工具制作工艺实例

### （一）银锭锉制作工艺

银锭锉为平地开井用锉，这种锉是洪炉掌钳师根据管事（即技师）提出的形状、大小、轻重的规格要求，用熟铁加热锻制而成的，采用的是旧时制作井盐工具的传统方法。制成的工具能否牢实，不至发生断裂造成事故，关键在于掌钳师傅在制作过程中能否掌握好锻件的火候（即现代所称的"锻造温度范围"）和锻打功夫，制作银锭锉主要用的是逗火工艺（即锻接法）。这种工艺是古代先民创造发明的锻铸工艺和热处理技术的继承和延伸，对于制作传统井盐工具起到了重大作用。

1．手锻工具

洪炉二个、风箱二个（活塞式风箱）、铁砧一个（打铁用）、大锤五把（用硬茶条作把子）、小锤一把、抱钳4～5把（拈板铁用）、扳钳二把（拈板铁用）、筒钳4～5把（拈火炮筒用）、扳钳二把（拈板铁用）、筒钳4～5把（拈火炮筒用）、铁卡一个（测量尺码用）、錾子一个（錾钢铁用）及锉刀一把（修理工具用）。

2．材质

以威远县连界场铁厂所出土铁（或称板铁，即熟铁）若干。板铁以铁矿石为原料，用焦炭炼成圆形毛铁后，再用生煤炬成方形铁块即板铁。每块3～5千克，厚2厘米，宽3～5厘米。

钢若干：有箭牌、竹节、八楞等钢，其中以八楞钢为最好，直径约为20～22毫米。

煤炭若干斤。

3．人员配备：掌钳师一人（负责掌握火候及锻铸工艺）、二掌钳一人（掌钳师的助手）、拉风箱一人、下手（即徒弟）3～4人（打大锤及干杂活）。

4．制作工艺及步骤

银锭锉全长3～4米（包括锉头在内），其传统制作工艺，系由洪炉上的掌钳师根据井口管事提出的规格要求，用板铁加热锻打成短的圆杆（圆柱形铁块），然后一节一节地逗接成银锭锉的铁杆。在板铁锻打成短的圆杆（即俗称大炮筒）与逗接过程中，掌钳师需认真仔细地掌握好火色，才能使锻制出的铁件坚韧牢实。因为井深多达数百米到千米，用其钻凿岩石，若火候不到家（即温度没有达到技术要求），锉杆不能承受重力作用，易断裂造成井下事故。

（1）做锉杆

将威远连界场铁厂生产的板铁（即熟铁、威远铁韧性较好）三四块叠齐放在炉上加热，用生煤作燃料，以一人拉风箱逐步加温，铁块要随时翻身，当炉火烧到火焰发白，俗称"来火"时，约（1 275 ℃）铁即熔化结成一块，于是掌钳师用扳钳将铁块拈出放在铁砧上夹好，由下手用大锤锻打，之后再将已被打成一块的铁块放在炉上再烧，这时风箱要猛拉迅速提高温度；到火焰发白嘘火时（约





1 200 ℃），用扳钳平起放在铁砧上打成方形，然后倒去楞子，锤成圆柱形，长0.2～0.33米，为火炮筒。在火炮筒的两端，用錾子錾成旗子角（形如三角旗的逗火口）。将火炮筒放置地下，使其冷却。根据锉杆长度，再用上法做所需的若干节火炮筒，以备逗接成一根整的锉杆。做火炮筒主要应看好火色及做好锻打功夫，掌钳师的经验技术起关键作用。

（2）做泥座子

泥座子位于锉杆顶端，是扎把手用的。其做法是在做第一节火炮筒时，先将火炮筒的一端打成软八方（略为八方形），然后倒去楞子打成正四方形，上小下大，方向要与下面锉头的泥槽一致。

（3）逗锉杆

火炮筒做好之后，需将若干节火炮筒接逗成一条整锉杆，其具体做法是：先将炉腔打扫干净，打好底火，将两节火炮筒对准接头（即旗子角）放在炉上加热。另外，取稻草一束浇湿，草上放无烟的炭花（俗称二炭）少许，又在炭花上再放一层打湿的颗粒状的生煤少许，连同这一些放在两节火炮筒接逗处的上面，风箱要微拉逐步加温（俗称微拉慢点）达到火焰发白，火炮筒红透过心。在这过程中，掌钳师为掌握好火候，还要用铁钎子不时拨弄一下炉火，检查火候是否达到要求，待草已成灰与炭花凝结成一块，中间裂开时，即用大锤将在炉内的两节火炮筒对准旗子角撞拢。然后拈出放在铁砧上用大锤、重锤、快锤打在接逗的地方，锤成葫芦状（俗称撞胖），随后用大锤既快又轻地（俗称快点轻点）打成圆形，两节火炮筒即已逗成一节，仍放置地下。以下每两节火炮筒用此法逗成数节，再将逗好的火炮筒接所需长度复用上法即逗成一根整的锉杆。把手（即泥座子）这一节要细一点，二把（双颈子处）这一节要粗一点，像根笋子。在接逗过程中，稻草上放炭花是利用其无烟，用湿草的目的是避免灰渣下落，接逗锉杆的质量好坏，关键在于掌握逗接的火候及锤打功夫。

（4）做锉头

锉头长30.0厘米，锉口宽19.0厘米，厚12.5厘米，位于锉杆底部。锉杆的底端俗称正心，在正心往上0.4米处先做双颈子。其做法是：用两个洪炉，两个风箱，一边烧正心，一边将板铁一块放在另一炉上加热，拈出锤成扁形后再烧，待来火时，将扁铁拈出粘接在已经加热的正心上面0.4米处的一侧，用大锤打好，其另一侧也用上法粘接上去，这样不但加固了正心（因为双颈子在锉头与锉杆的交接处，受力很大），而且正心的底部也加宽了。双颈子做完后，还要在锉头两侧做耳包子，其做法与做双颈子一样，用板铁二块连同正心分别在炉上加热，将铁块打成椭圆形，分别粘接在已经加热的双颈子下面的正心（锉头）两侧。耳包子做好后，再用錾子在锉头两面剔泥槽，宽约6～7厘米，泥槽要与泥座子的方向一致。最后在锉头底部（即过梁、又名刃口）加钢。做法是：根据需要用錾子錾加热后的钢约0.5～0.75千克，放在炉上再加热到来火时，取出打成软四方形，随即将钢粘接在已经加热的锉头刃口处，用大锤打好。掌钳师及时用锉刀将其修理成符合规格要求的银锭式样，并且用铁制卡子量好规格尺码，完毕之后再烧一次，待火烧成牛肉红时，将锉放在清水池（不含碱）里淬火约3分钟。淬火要掌握好火的



老嫩（温度要适宜，不要过高过低），老了刃口要卷口，嫩了要“溅火”及“磨仄子”。待最后冷过心，银锭锉即制作成功（银锭锉的结构和形制，见第六章第二节图6－1）。

以上是过去洪炉老铁工家传或从师的过程中学来的技术经验，其制成工具质量优良，一般能经受重力冲击而不致发生断裂事故。经现代科学仪器测试，亦多能符合技术要求。这种旧式传统制作工艺，都由老艺人辗转相传，鲜见文字记录。

（二）偏尖制作工艺①

偏尖属于传统井盐工具中的打捞工具（无齿类）的一种，素有“打捞之王”的美称，能用来捞取落于井下的大、小锉杆或其他杆件工具。从构造和功能上分，有活偏尖、死偏尖两种。其长短大小规格，都是洪炉铁工根据井口管事提出的要求和井径大小来制作的。其圆杆及扁杆部分，都是做杆子时一次制成的（关于活偏尖的结构和形制，见第六章第三节附图6－5）。

1. 死偏尖制作工艺

第一，手锻工具：扳钳二把、大锤二把、洪炉一个、风箱一个、铁砧一个、錾子及锉刀各式各一把。

第二，人员配备：掌钳一人、打锤二人、拉风箱一人。

第三，材质：板铁、钢、生煤各若干。

第四，制作工艺及步骤：用威远县连界场铁厂生产的板铁两块叠好放在洪炉上，用生煤作燃料加热，当火焰发白时（约1 275 ℃），铁即烧软结成一块。将铁块拈出放在铁砧上，用大锤在一端的顶部打成软八方形。随即倒去楞子，打成上小下大四方形的泥座子（扎把手用），其余部分则打成圆杆，全长约0.5米。以下再用此法打成所需的圆杆若干节。把两节杆子放在炉上加热，到来火时，用钳子将两节杆子拈出放在铁砧上用大锤打接成一根，并要一次逗好。在泥座子以下约0.5米，要缠个棋子（是为顶伞把和壳子用的），即用板铁一块加热烧软打条方形，缠在已经加热的圆杆上，缠好后复火拈出打成圆形。之后即做蛋壳（可以上下移动的铁制活坯，上可至棋子，下可至扁杆），即用板铁一块加热烧软打成薄片，卷接成圆环形，将此铁环笼人圆杆即成。在偏肩底部一侧要做钢蹬一个（它在井下能啃住落物以便将落物提出井口），钢蹬子长7厘米，为扁形，下窄上宽。其做法是：将钢加热，用錾子錾下需要的一节，再放到炉上加热，拈出打成要求形状，粘接在已经加热的偏肩底部外侧，底部为刃口，用锉刀锉快，以利于出啃取，最后将偏尖底部向外微微搬弯7～10毫米。

2. 活偏尖制作工艺

活偏尖的做法与死偏尖基本相同，不过在底部蹬上约30厘米处的背面加有小鸡心下刀一把。其作用是：若偏尖的蹬已经啃着落井物，而落井物被岩石或其他东西卡住不能提上时，即用挺子撞击泥座子，使小刀往下划断腰紧处的麻纫，壳子即能散开，以解脱自身。鸡心下刀的做法是：将已加热的钢用錾子錾下一节，打成鸡心刀形，同时将扁杆烧软，在扁杆的内侧底部向上30厘米处用錾子錾一小

① 偏尖又称偏肩，有活偏尖与死偏尖子分，一般打捞井下落物时，多用活偏尖捞取。




口，将鸡心刀嵌入其内，再放炉上复火即成。要求刀的小口要斜，便于割断麻纫，下口要平，刃口要用锉刀出锋口。

两种偏尖使用时，在捆扎伞把的方式上有所不同，装活偏尖时，注意伞把要灵活，腰紧要适合井径和落井物杆子的大小，竹壳子要稍短，在其中部捆一下，能使其上下移动，死偏尖则应注意将伞把扎死，抵在棋子上的壳要扎死，并抵着棋子，不使上下移动。

以上两种偏尖的制作在锻制技术上称为接火工艺，它与逗火工艺，同样需在观测火候及锻打上用功夫，但也有其细微不同之处。

（三）五股须制作工艺

五股须是有齿类打捞工具之一。明代射洪人马骥所著《盐井图说》一书中提到的“铁五爪”，即今五股须。其功能可捞取井下所坠钎头。他说：“垂爪入井，则爪攫剿钎头者，牢不可以游滑自匿，虽欲不出，不可得矣。”在清人吴鼎立《自流井风物名实说》中亦提到这种工具。证明这种工具发明甚早，实为打捞落井工具之利器。它与三股须、四股须一样，都有钩、抱、捡、康等功能，主要用于打捞井下落锉、竹帽筒、小镔铁团块、大岩石等物。

五股须的制作和锻制技术均用接火工艺，其所用工具，材料与人工亦与制作偏尖相同（见第六章第三节图6－6）。

五股须的每一股须都是用板铁加热打成，须上的齿是用铁打成，然后与加热后的须条粘接而成，不用淬火。将五股须条做成及双齿单齿粘接好以后，即将五股须条的一端聚结在一起加热，便凝结成一个覆爪状整体。然后将这五股须的整体的接头部位与正杆的底部共同加热接逗在一起，经过锤打修理，将五股须条扳匀即成。

此外，还有一种有蹬五股须，其形状构造与五股须相同，只是须内面完全无齿，而在每一股须的底部尖上加一钢蹬，蹬的形状与偏尖相同，使用方法与五股须一样，其功能为捞取落井锉头。

夏湘容等编著的《中国古代矿业开发史》(地质出版社，1980年)中记载：对战国出土的铁器经过金相考察表明，当时已能生产展性铸铁，这可以证明当时的劳动者不仅已经认识热处理某些作用，而且还创造了铸铁可锻化退火这一极为重要的热处理工艺。这种生产展性铸铁技术一直流传下来，到现在仍在使用。而在欧洲，展性铸性的出现和应用，是在1720年以后的事情。制作传统井盐工具的工匠们在继承和借鉴古代先民创造的冶炼、锻铸工艺技术基础上，在掌握炉温（俗称拿稳火色，看准火候），注意锻打，进行淬火（热处理）诸方面，积累和体现了古代锻制工艺技术，锻制出众多式样各异，功能神异的钻（治）井打捞工具，为井盐开发作出了可贵的贡献。



# 参考文献


[1] 梁启超:《 新民说 》，第三节“释新民之义”。

[2] 闻人军:《 考工记 · 导读 》，巴蜀书社，1987 年。

[3] 熊佐周等:《 自贡盐场锉井及治井技术 》，食品工业出版社，1957 年。

[4] 自贡市自流井盐厂编:《 自流井盐厂志 》，四川人民出版社，1994 年。

[5] 左宏光:《 自贡盐场的破败和新生 》，载《 自贡文史资料选辑 》第十一辑。

[6] 罗筱元:《 自贡盐场的笕商 》，载《 自贡文史资料选辑 》第一三辑。

[7] 邵钧:《 自贡盐业的社会主义改造 》，载《 自贡文史资料选辑 》第一九辑。

[8] 吴泽霖:《 解放后自贡盐业的回顾 》，载《自贡文史资料选辑》第二二辑。

[9] 自贡市盐务局编:《 自贡市盐业志 》，四川人民出版社，1995 年。

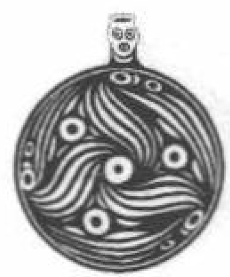
[10] 聂成勋:《 自流井构造盐、卤资源开发状态及合理开发方案探讨 》(自贡井盐矿山开发史研究报告)，1978 年。

[11] 荆三林:《 中国生产工具发展史 》，中国展望出版社，1986 年。

[12] 申力生主编:《 中国石油工业发展史 》第一卷，石油工业出版社，1984 年。

[13] 何光荣等:《 深井全遮盖式打捞杯 》，载《 天然气工业 》，1984 年，第 2 期。

[14] 何光荣:《 川式取心工具稳定性分析与改进 》，刊《 天然气工业 》，1983 年，第 3 期。





# 后　记

七年前，承蒙中国科学院自然科学史研究所苏荣誉先生推荐，参加《中国古代工程技术史大系》的编写，其中特约我们撰写《中国古代井盐及油气钻采工程技术史》专卷。在此，感谢苏先生的好意！

中国古代井盐钻采工程技术，历史悠久，内涵丰富，在我国古代科技史和世界古代科技史上，独具特色。李约瑟博士在《李约瑟文集·序言》中说：中国古代科学技术成就，足以表明使人眼花缭乱，是一个巨大的“金矿”。可以认为：我国古代井盐及油气钻采工程技术，则是这个大型“金矿”里的“富矿”和“精矿”，具有重大的科技价值、历史价值及实用价值。为此，发掘丰富的井盐史籍，取其精华，以研究及总结中国古代井盐及油气钻采工程技术主要的成就，无疑是弘扬我们伟大祖国和民族优秀科技文化遗产的一项十分有益的工作。

六年来，我们为确保书稿的质量和加快进度，舍弃了所有的节日、假期及休闲，夜以继日地笔耕，倍付辛劳。为提高全卷质量，撰写人员，还安排一定的时间，走出研究室，深入到现场实地（如，自贡盐场有关盐厂，川北卓筒井发祥地等），考察古盐井、古遗址、古盐场，同时拜访老盐务、老井匠、老工人（实为井盐的“活档案”），收集了大量的第一手资料，从而弥补了史籍记载的不足和缺失，极大地丰富了井盐卷的内容，终使本卷得以圆满完成。

参加撰写《中国古代井盐及油气钻采工程技术史》卷的人员，都是我们长期共事的合作者，大家精诚团结，配合协调，分题撰成。全卷具体撰写和分工是：

周志征撰写第三章第三节、第五章第二节、第六章第九节、第八章第六节、第十章第四节。并对书稿撰写提出了建设性意见。

刘瑛撰写第一章第三节、第三章第一节、第四章第一及第四节、第五章第一节、第六章第一节。此外，还对全卷整理了大量的资料。

刘德林撰写第一章第一至第二节、第二章第一至第五节，第三章第二节及第四至第五节、第四章第二至第三节及本章第五至第六节、第五章第三至第四节、第六章第二至第八节、第七章第一至第七节、第八章第一至第五节、第九章第一至第六节、第十章第一至第三节及本章第五节。还有《前言》与《后记》及负责全卷的统稿。

在本卷成书过程中，中国科学院路甬祥院长、中国矿业大学李进尧教授，他们在百忙中审阅了《中国古代井盐及油气钻采工程技术史》撰写提纲并提出了宝贵的意见。书稿撰成后，李教授进行了第二次审稿，并作了总的评价和提出了好的建议。中国科学院自然科学史研究所主任何堂坤研究员，对书稿给以大力的帮助和多方的关照。自贡市盐业历史博物馆领导钟长永、邱明达、黄健、周翠微、程龙刚始终对成书以极大的重视和支持。本馆宋良曦副研究员对课题研究热情的关心，技术部副研究员谢奇筹、馆员周兰、缪自平，为本卷提供了部分文物摄影照片，梁鹰翻译本卷目录，付出了辛劳。工程师徐才礼绘制了机械图，技师赵调元进行了描图。值此之际，对以上领导、专家及有关同志热情的关心和帮助，我



们一一表示诚挚的谢意！

这里，还要特别提到的是四川自贡市地质矿产局副局长、高级工程师、中国矿协理事刘述荣，在百忙中为本卷进行了第一次审稿，评语画龙点睛，使本卷蓬面生辉。《中国古代工程技术史大系》总编、何堂坤研究员，在对本卷最后审稿时，提出了重要的修改意见和很好的建议。在此，向两位专家表示衷心的致谢！

在书稿撰写中，我们力图站在中国科技史和世界科技史的高度，来总结我国古代井盐钻采工程技术的发展和主要成就，提出新观点。但井盐卷是一项巨大的工程，内容极其广泛，涉及多学科，属文理交叉之学科，加之盐史古久，有的史料难以查寻，为此，书中遗漏和缺点在所难免，敬请专家、学者、读者不吝赐教。

著　者